

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI

SÉLECTION DE PORTEFEUILLES DE PROJETS :
PROPOSITION D'UNE APPROCHE PRATIQUE

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN GESTION DE PROJET

PAR
FRANÇOIS TERRIEN

AVRIL 2007

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d’abord à remercier Monsieur Bruno URLI, mon directeur de recherche, pour m’avoir encadré tout au long de ma recherche.

Je remercie le Professeur Julian MOLINA pour son aide précieuse et sa participation à cette recherche.

Je remercie également Monsieur Daniel ROUSSE, vice-recteur du campus de Lévis, Université du Québec à Rimouski, ainsi que Messieurs Jean PASCO et Philippe DAL SANTO, sous-directeurs respectifs des Centres d’Enseignement et de Recherche ENSAM de Châlons-en-Champagne et d’Angers (France), qui ont énormément œuvré pour que cette expérience soit possible.

Je tiens enfin à exprimer ma plus profonde gratitude envers Monsieur Jean-Yves LAJOIE, directeur à la maîtrise en Gestion de Projet, ainsi que l’ensemble du corps professoral de la maîtrise en Gestion de Projet de l’UQAR, campus de Lévis, pour la qualité de l’enseignement qui m’y a été dispensé et pour leur disponibilité exemplaire.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	5
LISTE DES TABLEAUX.....	6
RÉSUMÉ.....	7
INTRODUCTION.....	8
CHAPITRE I.....	9
LES DIFFÉRENTES APPROCHES DE SÉLECTION DE PORTEFEUILLES DE PROJETS	9
1.1 Les portefeuilles de projets	10
1.1.1 Objectifs de la gestion de portefeuilles.....	10
1.1.2 Importance de la gestion de portefeuilles	12
1.2 Mise en œuvre de la sélection de portefeuilles de projets.....	12
1.2.1 La sélection.....	12
1.2.2 Modèles.....	17
1.2.3 Problématique	18
1.2.4 Analyse des projets	18
1.2.5 Revue de littérature.....	20
1.2.6 Article <i>DEA-BSC</i>	22
CHAPITRE II.....	29
PROPOSITION DE MÉTHODOLOGIE.....	29
2.1 Théorie de la méthodologie proposée	29
2.1.1 Les typologies retenues.....	29
2.1.2 L'agrégation utilisée.....	30
2.1.3 La notion d'interactivité	30
2.2 Application à un cas de référence	31
2.3 Comparaison avec une autre méthodologie	31
2.4 Génération de portefeuilles	32

TABLE DES MATIÈRES

2.4.1 Enjeux/objectifs	32
2.4.2 Description <i>MOAMP</i>	32
2.5 Prise en compte des préférences	40
CHAPITRE III	42
COMPARAISON DES MÉTHODES <i>DEA-BSC</i> / <i>MOAMP</i> SUR UN CAS ANALYTIQUE	42
3.1 Hypothèses et restrictions	42
3.2 Comparaison des portefeuilles obtenus avec les deux méthodes	42
CHAPITRE IV	45
APPLICATION SUR UN CAS ANALYTIQUE SANS RESTRICTION	45
4.1 Conditions	45
4.2 Résultats après <i>MOAMP</i>	45
4.3 Prise en compte des préférences	47
4.3.1 Fréquence.....	47
4.3.2 Favorisation d'un intrant.....	48
4.3.3 Favorisation d'un extrant.....	49
4.3.4 Réflexion sur le nombre de projets	50
CONCLUSION	52
APPENDICE A	54
PORTEFEUILLES DOMINÉS.....	54
APPENDICE B	56
MATRICES DE L'APPLICATION NUMÉRIQUE.....	56
APPENDICE C	63
CALCULS – LOGICIEL MATHEMATICA	63
APPENDICE D	72
PORTEFEUILLES OBTENUS APRÈS <i>MOAMP</i>	72
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	80

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure 1: Maturité du contrôle des projets (Michelsen et al., 1999)	11
Figure 2: Modèle de travail de Archer et Ghasemzadeh (Archer et al., 1999).....	17
Figure 3: Approches possibles pour les méthodologies de sélection de portefeuilles.....	18

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau 1: Comparaison des portefeuilles 1 et 2 de DEA-BSC	28
Tableau 2: Typologies retenues pour notre méthodologie	29
Tableau 3: Comparaison des extrants suivant les hypothèses considérées	46
Tableau 4: Comparaison d'un portefeuille avec les pf extremums et le pf moyen	47
Tableau 5: Classement des portefeuilles suivants les intrants.....	49
Tableau 6: Classement des portefeuilles suivant les extrants.....	50
Tableau 7: Mise en évidence des portefeuilles <i>DEA-BSC</i> dominés	54

RÉSUMÉ

La gestion de portefeuille de projets connaît un formidable essor dans les organisations. Beaucoup de modèles unicritère ou multicritère, statique ou dynamique, avec ou sans interactions entre projets, en contexte de certitude ou d'incertitude ont été proposés par les chercheurs mais dans la pratique, peu sont utilisés.

Nous proposons, dans ce mémoire, une approche simple d'aide à la sélection de portefeuille de projets basée sur la génération par la métaheuristique MOAMP des portefeuilles efficaces agrémentée d'une analyse de ces portefeuilles.

INTRODUCTION

Afin de générer un maximum de profit, les entreprises s'attachent à entreprendre uniquement des projets qui correspondent à la finalité et à la stratégie définie par les dirigeants. Cela implique un processus décisionnel ou cours duquel le décideur, ou le groupe de décideur, a pour objectif de retenir un ensemble de projets, satisfaisants aux contraintes physiques et stratégiques. Cet ensemble est appelé portefeuille de projets, et sa constitution est une activité aussi déterminante que complexe. La complexité vient du nombre de combinaisons de portefeuilles réalisables et il faut recourir à des outils mathématiques extrêmement performants dans le but de sélectionner une solution optimale en un temps raisonnable.

L'approche de la sélection de portefeuilles de projets a été introduite dans les années 1950 par Markovitz, et a depuis fait l'objet de nombreuses études sans qu'à ce jour une soit retenue comme méthodologie de référence. Nous aborderons les différentes approches de sélection à travers une revue de littérature, qui nous orientera vers une nouvelle méthodologie, dont nous définirons le cadre et que nous évaluerons par rapport à une méthodologie récemment proposée.

CHAPITRE I

LES DIFFÉRENTES APPROCHES DE SÉLECTION DE PORTEFEUILLES DE PROJETS

Il convient tout d'abord de s'attarder sur la sélection des portefeuilles, notamment l'objectif de cette activité, qui nous amène directement à son importance en tant que vecteur de réussite des entreprises.

Une fois ce contexte posé, sa mise en œuvre prend différentes formes, car en effet de nombreuses approches sont envisageables. Ceci dit, un modèle de travail permet de visualiser la démarche qui est suivie lors de la mise en œuvre, les différences entre les diverses approches proviennent des approches d'analyse des projets ou encore des choix de typologies retenus.

1.1 Les portefeuilles de projets

D'après les objectifs qu'elle aura établi, une organisation procède à l'activité périodique qu'est la sélection d'un portefeuille de projets. Elle consiste en une sélection d'un ou plusieurs portefeuilles de projets aptes à atteindre l'objectif annoncé tout en respectant les ressources allouées et d'autres contraintes. Parmi celles-ci, on peut notamment citer les objectifs et priorités de l'entreprise, les bénéfices financiers, les bénéfices intangibles, les ressources disponibles et le niveau de risque du portefeuille.

Le choix d'un portefeuille vise à ce que l'entreprise ne mène pas chaque projet indépendamment avec pour seul objectif leur finalité, mais bien de considérer la réussite de chaque projet par rapport à la finalité de l'entreprise. On parle de notion d'objectifs partagés.

Les entreprises génèrent beaucoup d'idées de projets, mais peuvent rarement tous les concrétiser, principalement par manque de ressources, qu'elles soient physiques ou financières, ou encore en raison d'un décalage entre le projet et les aspirations à plus long terme de la direction. Les dirigeants doivent alors décider quels projets garder et lesquels arrêter. C'est ce processus qui est complexe et délicat en gestion de portefeuille. Il faut en effet faire une évaluation de chaque projet, puis les prioriser et les sélectionner. Dans la sélection de portefeuille, l'évaluation des projets n'est pas qu'individuelle, on veut en effet s'assurer de la pertinence des combinaisons de projets dans son ensemble, car les projets ne sont que rarement indépendants et les interactions qu'il peut y avoir entre eux sont autant de sources d'économie, aussi bien financières que techniques, humaines ou autres.

1.1.1 Objectifs de la gestion de portefeuilles

Comment déterminer quels projets garder, et quels projets rejeter? Là est toute la difficulté du rôle de décideur. Il convient de trouver le bon équilibre entre les impératifs stratégiques et tactiques. Pour ce faire, il faut considérer ce qu'il est possible de faire, en terme de capacité, et ce qui doit être fait, en terme de besoin.

La sélection de portefeuilles s'inscrit dans la démarche de maturation de l'entreprise, illustrée par le graphique suivant:

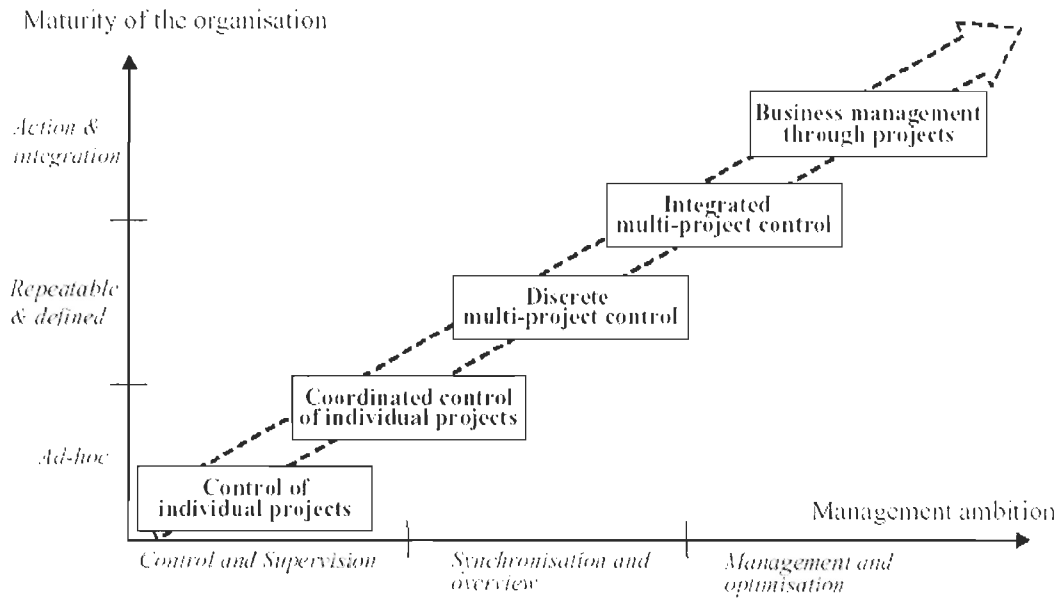


Figure 1: Maturité du contrôle des projets (Michelsen et al., 1999)

L'objectif de la gestion des portefeuilles est naturellement de permettre d'aller au bout de cette progression. Les projets font alors partie intégrante de la dynamique de réussite de l'entreprise.

La gestion de portefeuilles a pour finalité la réalisation de la stratégie d'entreprise. Cooper en a identifié les facteurs de réussite:

1. Lier le portefeuille à la stratégie de l'entreprise,
2. Trouver le bon équilibre et la bonne combinaison de projets,
3. Maximiser la valeur du portefeuille.

La difficulté lors du choix d'un portefeuille de projets est de répondre au mieux à ces remarques.

1.1.2 Importance de la gestion de portefeuilles

Une autre étude que Cooper (1997) a menée auprès de plusieurs entreprises a permis de évidence l'importance de la gestion de portefeuille de projets. Il en est ressorti trois raisons principales, qui sont les suivantes:

1. Le succès du développement de nouveaux produits sera à l'avenir essentiel et la gestion de portefeuille de projets est requise pour s'assurer que les efforts engagés sont destinés aux meilleurs projets permettant ainsi un lancement réussi des nouveaux produits.
2. Les projets, et plus particulièrement ceux de développement de nouveaux produits, sont le biais le plus important pour opérationnaliser la stratégie d'entreprise.
3. L'allocation des ressources est devenu un facteur de plus en plus déterminant. L'allocation est l'un des éléments essentiels de la gestion de portefeuille et il constitue ainsi un outil d'aide à la résolution de ce problème.

Les entreprises désireuses de générer des bénéfices ont donc tout intérêt à recourir à la gestion de portefeuilles de projets.

Plusieurs démarches existent au moment d'aborder cette gestion. Cette gestion passe par le processus de sélection qui fait également l'objet de plusieurs méthodes, articulées en deux axes principaux, présentés dans la partie suivante.

1.2 Mise en œuvre de la sélection de portefeuilles de projets

1.2.1 La sélection

De nombreuses organisations font face au problème de décision déterminent qu'est la sélection de projets et l'allocation de ressources pour construire un portefeuille de projets. Ce problème de décision implique la plupart du temps des objectifs multicritères. Les propositions de projets sont évaluées en regard des multiples critères relatifs à ces objectifs où la performance du portefeuille est également en multicritère, sous forme d'agrégat des projets individuels. Dans la majorité des cas, seul un sous-ensemble des projets proposés peut être financé avec les ressources disponibles et, de même, aucun portefeuille faisable ne

maximise simultanément tous les critères. Ce cadre décisionnel est connu sous l'appellation Budgétisation Multicritère de Capital (*MCCB: Multiple Criteria Capital Budgeting*).

Les problèmes de *MCCB* sont rencontrés à la fois dans les organisations non lucratives, tels que les hôpitaux (Kleinmuntz et Kleinmuntz, 2001; Focke et Stummer, 2003), gestion de forêt (Martell et al., 1998) et la gestion de maintenance des routes (Robinson et al., 1998), de même que dans les organisations industrielles (*Cf. e.g.*, Stummer et Heidenberger, 2003; Strauss et Stummer, 2002; Thizy et al., 1996; Martikainen, 2002). L'approche multicritère a aussi été utilisée pour l'évaluation de programme de recherche (Salo et al., 2002) et la planification de scénario (*Cf. e.g.*, Salo et Bunn, 1995). Un pan de la recherche est consacré à l'utilisation du multicritère pour la prise de décision en analyse financière (*Cf. e.g.*, Spronk et Hallerbach, 1997; Zopounidis, 1999; Hallerbach et Spronk, 2002; Zopounidis et Doumpos, 2002; Steuer et Na, 2003). Cela dit, la prise de décision dans le domaine de la finance fait généralement intervenir des variables de décision continues et diffère en cela du cadre des *MCCB* qui font intervenir des choix binaires (oui/non) entre projets liés.

En *MCCB*, les projets peuvent être aussi bien des opportunités d'investissement, que des propositions de Recherche et Développement, des sites de maintenance, ou encore des biens concrets. Ils peuvent être évalués en termes de critères quantitatifs (*e.g.*, valeur actuelle nette, ventes, part de marché, superficie) et de critères qualitatifs (*e.g.*, niveau de risque, compétences du personnel, impact environnemental, impact social). Les projets sont très souvent interdépendants (*e.g.*, effets de synergie ou de cannibalisation). En sus des contraintes liées aux ressources, le problème fait généralement intervenir différents types de contraintes stratégiques ou logiques, de même qu'il peut y avoir des seuils minimums ou maximums sur certains critères (*Cf. e.g.*, Archer et Ghasemzadeh, 1996; 1999; Stummer et Heidenberger, 2003).

Si l'évaluation des projets se fait en regard d'un seul et unique critère (par exemple, la valeur actuelle nette), ou encore si le décideur est capable de spécifier pleinement ses préférences vis-à-vis des critères, alors le *MCCB* se réduit à une budgétisation standard de capital qui peut être aisément résolue, par exemple, par de la programmation linéaire (*Cf. e.g.*, Luenberger, 1998). Un support décisionnel utile peut être fourni même si le décideur n'est

pas capable ou non désireux de donner des indications complètes sur ses préférences. Dans ce cas, les méthodes de prise de décision multicritère (*MCDM: Multi Criteria Decision Making*) fournissent au décideur un ensemble de solutions non dominées (ou encore efficaces ou optimales en Pareto). Une solution est non dominée si aucune autre solution faisable ne produit des bénéfices équivalents ou supérieurs sur toutes les combinaisons faisables des paramètres partiellement définis. On peut supposer qu'un décideur rationnel qui cherche à optimiser les critères optera pour une solution non dominée.

Les problèmes multicritères sont généralement traités en supposant une fonction d'utilité (ou de préférence) implicite ou explicite qui agrège les extrants en un seul et même scalaire de sorte que la valeur la plus élevée est préférée à une valeur inférieure.

Dans ce cas, on distingue deux méthodes:

- Les méthodes qui font de légères hypothèses sur la fonction implicite et qui demandent au décideur, de façon interactive, de comparer les solutions non dominées qui sont attendues. Suivant les réponses du décideur, ces méthodes explorent l'espace des solutions non dominées jusqu'à ce que le décideur soit satisfait du résultat. Les méthodes implicites sont en majorité appliquées dans les problèmes d'optimisation multicritère continus et il en résulte généralement seulement un sous-ensemble des solutions non dominées disponibles. Le développement intensif de ces méthodes interactives a eu lieu tout particulièrement dans les années 1970 et 1980 (*Cf., e.g.,* Geoffrion et al., 1972; Zionts et Wallenius, 1976; 1983; Steuer, 1976; 1986; Korhonen et Laakso, 1986; Korhonen et Wallenius, 1988).
- Un autre type de méthode fait intervenir des fonctions de façon explicite, bien souvent un modèle de pondération, et estime les paramètres de la fonction pour déduire une valeur globale servant aux solutions alternatives. Les modèles bien connus sont, par exemple, le processus de hiérarchisation analytique (*Analytic Hierarchy Process*) (Saaty, 1980) et les arbres de valeurs (*value trees*) (Keeney et Raiffa, 1976). Les fonctions explicites sont la plupart du temps utilisées dans un contexte de choix à faire parmi un ensemble relativement

petit de solutions dans lequel la valeur globale et le statut de domination sont calculés pour chacune des solutions.

Ces représentations sont largement acceptées, et sont souvent en phase avec la réalité (Cf. *e.g.*, Keeney et Raiffa, 1976; Von Winterfeldt et Edwards, 1986; Corner et Kirkwood, 1991). Ces méthodes sont toutefois critiquées dans la mesure où elles imposent de connaître, a priori, de nombreuses informations sur les préférences, telles que les choix de valeurs de pondération. A cet égard, plusieurs méthodes pour l'utilisation d'informations préférences incomplètes en multicritère ont été proposées au cours des 20 dernières années (*e.g.*, Weber, 1987; Arbel, 1989; Salo et al., 1992; 1995; 2001; Carrizosa et al., 1995; Mármol et al., 1998; Park et Kim, 1997; Kim et Han, 2000; Eum et al., 2001).

Ces méthodes de programmation des préférences (Salo et Hämäläinen, 2004) permettent au décideur de définir un ensemble faisable, plutôt qu'un point estimé, pour les critères de pondération du modèle de valeur additionnel. Des structures de domination et des règles de décision (Cf. *e.g.*, Puerto et al., 2000; Salo et Hämäläinen, 2004) peuvent être utilisées pour générer des recommandations sur les décisions. La programmation des préférences peut être employée comme outil d'analyse de sensibilité afin d'apporter plus de confiance dans les décisions basées sur les estimations exactes (*exact point estimates*) (*e.g.*, Rios Insua et French, 1991). Ces méthodes sont également utilisables dans le cadre des groupes de décision (Cf. *e.g.*, Salo, 1995; Hämäläinen et Pöyhönen, 1996; Kim et Ahn, 1999).

Dans leur étude, Ehrgott et Gandibleux (2000) ont signalé que malgré l'intensité du développement des méthodes aussi bien en optimisation multicritère qu'en sélection d'une seule solution, l'association de ces deux champs, *i.e.* l'optimisation combinatoire multicritère, n'a pas encore été largement étudiée. Il s'agit ainsi d'un appel au développement de méthodes innovantes qui fournissent un support efficace et convivial pour les problèmes de type *MCCB*. Dans cette attente, les caractéristiques spécifiques au problème *MCCB* doivent être explicitées:

- Les différentes décisions sont des portefeuilles, dont un seul est sélectionné. A cet égard, chaque portefeuille est un individu. Cependant, le nombre de

portefeuille croît de façon exponentielle à mesure que le nombre de projets candidats augmente.

- Les portefeuilles sont des combinaisons de projets individuels concourant avec des ressources limitées. Du point de vue du projet, la création d'un portefeuille est une série de décisions d'acceptation ou de rejet. Des mesures de performance qui aident à justifier les décisions prises en regard de chaque projet améliorent la transparence du processus de sélection.
- La sélection de portefeuilles est généralement considérée comme étant un processus de commission dans lequel les dépositions émanent de plusieurs membres (Archer et Ghasemzadeh, 1999).
- Les expériences recueillies des décideurs dans un contexte réel suggèrent que l'anonymat des projets peut s'avérer pratique dans la procédure de sélection car cela permet de réduire les risques de décisions biaisées influencées par un intérêt porté à certains projets individuels (*Cf. e.g.*, Stummer et Heidenberger, 2003).
- L'autorisation d'itérations flexibles du portefeuille final basées sur l'expertise du décideur, en opposition au cas strict et rigide où l'on propose une solution unique, augmente le degré d'implication du décideur dans la décision (*Cf. e.g.*, Archer et Ghasemzadeh, 1999).
- Pour supporter l'analyse de sensibilité en regard des paramètres externes d'intrant du problème, tels que les limitations de ressources, il est positif que le processus puisse être répété à moindre effort.

La méthodologie de programmation des préférences semble être un terrain fertile dans le cadre des problèmes *MCCB*. Appliquer les concepts de programmation des préférences à la sélection des portefeuilles est une base pour le support décisionnel en *MCCB*, à la fois flexible et convivial.

1.2.2 Modèles

Plusieurs modèles de travail ont été développés, mais celui proposé par Archer et Ghasemzadeh (1999) est le plus détaillé. Ce modèle est composé de trois phases qui sont la phase de considération stratégique, l'évaluation individuelle des projets et enfin, la sélection d'un portefeuille.

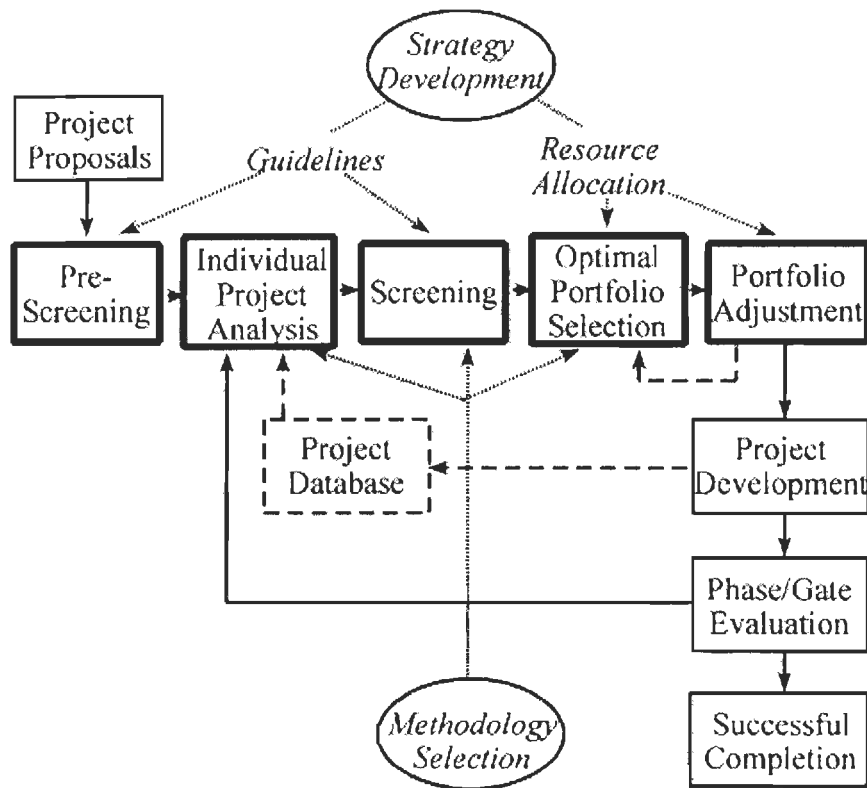


Figure 2: Modèle de travail de Archer et Ghasemzadeh (Archer et al., 1999)

Les phases proposition de projets (*project proposals*), pré-analyse (*pre-screening*) et analyse individuelle des projets (*individual project analysis*) sont traitées durant les études de pré-faisabilité et de faisabilité de chaque projet.

La phase d'analyse (*screening*) peut faire l'objet de différentes méthodologies, et c'est à elle que nous allons nous intéressons par la suite.

1.2.3 Problématique

La sélection d'un ou plusieurs portefeuilles de projets est un problème vaste et nous traiterons ici de la phase de sélection de portefeuilles de projets - correspondant aux phases analyse (*screening*), sélection du portefeuille optimal (*optimal portfolio selection*) et ajustement du portefeuille (*portfolio adjustment*), puis des différentes dimensions permettant d'effectuer cette phase.

1.2.4 Analyse des projets

1.2.4.1 Approches de l'analyse

L'analyse des projets est effectuée sur tous les projets dits faisables. On peut distinguer deux grandes orientations possibles: soit on conserve l'ensemble de tous les critères de sélection du projet, soit on utilise une fonction d'utilité multiattribut permettant d'agréger tous les critères en un seul scalaire, et d'obtenir un pré-ordre total sur l'ensemble des projets.

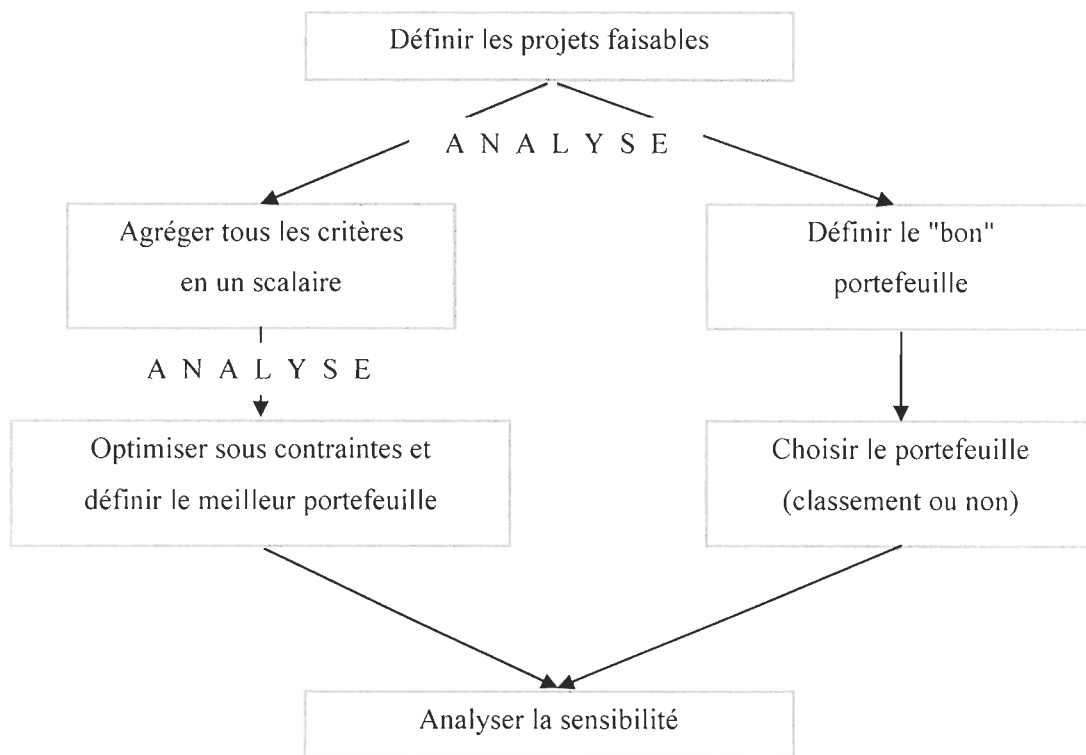


Figure 3: Approches possibles pour les méthodologies de sélection de portefeuilles

Plusieurs auteurs ont mené des recherches dans chacune de ces approches. Nous les aborderons dans la revue de littérature.

1.2.4.2 Les différentes typologies

Quelque soit la méthodologie choisie pour traiter du problème de la sélection d'un portefeuille de projets, la théorie utilisée fait intervenir cinq grandes variables à deux dimensions.

- ✧ Critère: Rares sont les projets dont la décision de l'entreprendre ou non réside en un seul critère (unicritère). La décision est généralement fonction de plusieurs paramètres à intégrer, il s'agit alors de problème multicritère.
- ✧ Statique: Le problème de la sélection de portefeuille peut, selon H.Eilat, B.Golany et A.Shtub (2005), être décomposé en deux grandes familles: les problèmes statiques et les problèmes dynamiques. Dans la famille dynamique, il y a, à chaque moment décisionnel, des projets entamés - projets dits actifs, et un ensemble de propositions de projet – projets dits candidats. Si l'on s'intéresse au cas statique, on considère alors qu'au moment de la décision tous les projets sont candidats. En dynamique, des projets déjà en cours interviennent dans le processus de prise de décision.
- ✧ Certitude: La notion de certitude ou d'incertitude s'applique aux données du problème. En effet, que ce soit la planification ou encore certains objectifs, il est parfois difficile de quantifier et/ou qualifier avec justesse les données du problèmes. Lorsque l'on travaille en certitude, la valeur utilisée pour la donnée est la valeur qui lui a été attribuée, tandis qu'en incertitude, la valeur utilisée répondra à une fonction représentant l'incertitude de la donnée (fonction gaussienne par exemple).
- ✧ Interaction: Pour la modélisation du problème de sélection de portefeuille, l'interaction entre les projets peut être prise en compte, ou non. Pour illustrer cette variable, prenons l'exemple du coût. S'il n'y a pas d'interaction entre les

projets, alors on aura égalité entre le coût des projets et la somme des coûts individuels de chaque projet. Cette égalité ne serait pas vérifiée s'il y avait interaction entre les coûts des projets. L'interaction est alors génératrice d'économies.

- ∞ Attribution des ressources: Parmi les contraintes agissant sur les projets, le facteur financier est loin d'être négligeable. Ainsi tout projet a une valeur financière, un coût. Dans les données utilisées lors de la modélisation, l'attribution des fonds pour le projet peut être soit partielle, soit totale. Un exemple d'attribution partielle des fonds est la décision de ne donner à un projet qu'un certain pourcentage de son coût estimé, pour en mener l'étude de faisabilité. En fonction des résultats de l'étude, le projet peut être arrêté ou prolongé et il recevra alors d'autres fonds, partiellement ou totalement.

1.2.5 Revue de littérature

1.2.5.1 Les deux approches

L'approche la plus courante dans les problèmes multicritères est celle qui consiste à matérialiser la performance du portefeuille en un scalaire. Plus ce scalaire est grand, plus le portefeuille est considéré performant. La difficulté de cette approche réside dans le choix de la méthode d'agrégation. L'affectation d'une utilité multiattribut doit faire l'objet de choix judicieux et pertinents, et il n'existe pas de mode de combinaison accepté. Les différentes méthodes déjà référencées sont celles utilisant AHP et ILP, Electre-tri et ILP (Mavrotas et Diakoulaki, 2003), AHP et IGP (Lee et Kim, 2001), ou encore l'approche du point de référence de Stewart (Stewart, 1991).

Si le décideur ou le groupe de décideurs est indisposé à mentionner ses préférences, l'autre approche, en deux phases, est judicieuse. La première étape consiste à déterminer l'espace de tous les portefeuilles efficaces – mais non nécessairement efficients, par l'approche Pareto par exemple. Ensuite, l'espace généré est exploré de façon interactive; le *branch-and-bound* est une solution possible (Eilat et al., 2005).

Il n'en reste pas moins que la détermination de l'espace est une tâche difficile, et ceci est d'autant plus vrai lorsque le nombre de projets augmente. La métaheuristique doit alors être considérée comme étant un bon compromis Doerner et al., 2004).

1.2.5.2 Méthodes existantes

De nombreuses études aussi bien théoriques que pratiques ont déjà été conduites pour développer de méthodes gérant le processus de sélection de portefeuille(s). Les premiers modèles théoriques consistaient en la sélection d'un sous-ensemble de projets maximisant les objectifs tout en respectant les contraintes (Baker, 1974; Liberatore and Titus, 1983; Liberatore, 1988; Danilla, 1989). Ces modèles n'ont, en pratique, été que peu usités, comme l'ont mis en évidence Hall et Nauda (1990). La raison en est que les données exigées dans ces modèles sont trop précises et rarement disponibles. Ce phénomène a été confirmé par les observations de Schmidt et Freeland (1992), puis Cooper (2001). Farrukh et al. (2000) ont apporté des explications possibles à la faible implantation de ces modèles en pratique et Loch et al. (2001) également, au travers d'une expérience effectuée en conditions réelles.

Les modèles proposés plus récemment tentent bien entendu de réduire les différences observées (Henrisken et Traynor, 1999).

Un inconvénient de nombreux modèles de sélection a été mis en évidence par Baker et Freeland (1975): "L'un des facteurs les plus limitant dans les modèles de sélection actuels est le traitement inapproprié des interactions entre les projets [...]". Il s'avère que la notion d'interaction a fait l'objet de peu d'articles. Le modèle de Schmidt (1993) tient compte des interactions entre ressources, bénéfices et objectifs. L'allocation des ressources a été traitée par la programmation non linéaire en nombres entiers (*nonlinear integer program*), et la résolution effectuée par un algorithme en *branch-and-bound*. Dickinson et al. (2001) ont, quant à eux, utilisé une matrice de dépendance permettant de quantifier les interactions profitables à un modèle d'optimisation de portefeuille. Afin de comprendre les interactions existant entre les projets et leur lien avec la performance du projet dans les environnements multiprojets, Verma et Sinha (2002) ont développé un modèle théorique, en se basant sur de nombreux cas de projets menés en entreprises.

Bien que de nombreux modèles aient déjà été proposés, les praticiens estiment toujours ce problème non résolu et c'est pourquoi la recherche est très active pour trouver une réponse à ce problème complexe.

1.2.6 Article *DEA-BSC*

H.Eilat et al. (2005) ont proposé et illustré une méthodologie permettant de générer et d'analyser des portefeuilles efficients, efficaces et équilibrés constitués de projets de R&D avec interactions. Cette méthode utilise par deux fois une analyse d'enveloppement de données (*DEA, Data Envelopment Analysis*).

Voici comment se décomposent la méthodologie et l'article que l'on nommera « *DEA* » par la suite afin d'alléger la lecture.

1.2.6.1 Cadre conceptuel

Dans cet article, les auteurs proposent d'aborder le problème de la sélection de portefeuille de façon statique, c'est-à-dire qu'au moment où la décision de sélectionner les portefeuilles de projets est prise, tous les projets sont candidats; autrement dit, qu'ils ne sont pas lancés.

D'autre part, les projets constituant les portefeuilles sont des projets de Recherche et Développement dont le mode de construction est relativement proche de celui des portefeuilles financiers. Il s'agit de projets dans lesquels la diversification est un aspect important, car il est risqué de « mettre tous ses œufs dans le même panier ».

Les problèmes statiques concernent l'attribution de ressources financières, humaines et matérielles à un ensemble de projets candidats qui servent au mieux les objectifs de l'organisation, tout en contrôlant les dimensions stratégiques que sont le risque et la récompense, la stabilité et la croissance, ou encore les bénéfices à court terme et à long terme. L'évaluation de la performance ne se limite pas aux profits, mais englobe également d'autres critères impliquant des données incertaines et/ou subjectives. Aucune méthode permettant d'agréger toutes les données en un scalaire mesurant l'efficacité générale n'est à ce jour reconnue unanimement (Anthony and Herzlinger, 1980, Chapitre 2). Puisqu'il s'avère que les

données qualitatives soient prédominantes par rapport aux données quantitatives dans le cas de projets R&D, il est important d'utiliser des méthodes capables de s'accommoder de jugements subjectifs et de données incertaines.

1.2.6.2 Le *DEA-BSC*

Cooper et al. (1997) ont identifié l'efficacité, l'efficience, et l'équilibre comme étant les trois critères qui généralement dominent le processus de décision.

C'est pour répondre à ces trois objectifs que les auteurs ont proposé une nouvelle méthodologie reposant sur un modèle *DEA* et une carte d'évaluation équilibrée (*BSC*, *Balanced ScoreCard*)

DEA a été développé par Charnes et al. (1978) dans le but d'évaluer l'efficacité relative d'unités de prise de décision (*DMU*, *Decision Making Units*). Aussi bien les intrants que les extrants peuvent contenir des données quantitatives et qualitatives. Le modèle *DEA* de base est un programme mathématique qui définit l'efficience comme étant le rapport de la somme pondérée des extrants sur la somme pondérée des intrants. Le modèle choisit pour chaque *DMU* l'ensemble de poids qui réalise l'efficience la plus élevée tout en s'assurant que ces poids ne génère pas d'autres *DMU* avec une efficience supérieure à 1.

BSC est un concept qui a été présenté par Kaplan et Norton (1992, 1996a, b) comme étant un outil de mesure organisationnelle. Son but est de produire des représentations équilibrées de la performance de l'entreprise. Cela est rendu possible en se concentrant sur quatre groupes de mesures de performance (cartes): finances, marché, croissance interne et innovation. Pour chacune des cartes, la méthode identifie un nombre de mesures qui permet de faire une évaluation détaillée de la performance de l'organisation dans les dimensions correspondant à la carte. *BSC* est intéressant car les informations nécessaires sont minimisées grâce à la réduction du nombre de mesures qu'elle utilise. Elle permet, de plus, de voir si une amélioration dans un des domaines n'a pas été faite aux dépens d'un autre.

Il existe déjà des modèles *DEA* comportant des restrictions sur les poids, mais la combinaison *DEA-BSC* apporte deux nouveautés: elle permet, d'une part, de quantifier le

concept *BSC* et, d'autre part, du point de vue *DEA*, elle permet d'établir une structure hiérarchique (correspondant aux cartes du *BSC*) des restrictions en *DEA*.

1.2.6.3 Méthodologie proposée par Eilat et al. (2005)

La méthodologie proposée par les auteurs se décompose en sept étapes. L'étape 1 consiste à allouer les ressources parmi les catégories liées aux dimensions stratégiques clés. Ensuite, les projets de chaque catégorie sont modélisés en *DMU*, puis évalués par le modèle *DEA-BSC* (étape 2). Les scores d'efficacité obtenus individuellement par chaque projet permettent de constituer les sous-groupes des projets « à considérer ultérieurement » et des projets « à rejeter ». Des indices des projets sont alors calculés pour permettre un contrôle sur la variabilité du risque, l'efficacité et l'équilibre des extrants (étape 3). (Étape 4) Un modèle *branch-and-bound* est exécuté pour générer les possibilités de portefeuilles pour l'évaluation suivante. Une fonction d'accumulation tenant compte de différentes interactions est alors appliquée aux intrants et extrants des projets de chaque portefeuille afin de déterminer les agrégats des intrants et extrants du portefeuille (étape 5). Le modèle *DEA-BSC* est une nouvelle fois utilisé, cette fois-ci pour évaluer les possibilités de portefeuilles (étape 6). Enfin, on procède à une analyse de sensibilité et un portefeuille est retenu d'après le classement (étape 7).

1ère étape:	Allocation des ressources
2ème étape:	Évaluation individuelle des projets
3ème étape:	Contrôle de la variabilité des projets
4ème étape:	Génération des portefeuilles
5ème étape:	Exécution d'une fonction d'accumulation pour déterminer les intrants et extrants du portefeuille candidat
6ème étape:	Évaluation des portefeuilles possibles
7ème étape:	Analyse de sensibilité

1.2.6.4 Exemple numérique

La méthodologie proposée présente de nombreux aspects numériques, aussi une illustration avec un exemple est présentée dans l'article. Il est tiré d'un problème fictif de prise de décision dans une grande entreprise gouvernementale chargée de sélectionner et de soutenir des projets dans le domaine de la technologie.

Il s'agit d'une entreprise à structure hiérarchique, avec des responsables de divisions gérant des projets de R&D dans des domaines technologies spécifiques. L'hypothèse est faite que le budget général de l'organisation en terme de R&D a été déjà réparti pour chaque division avec une approche reflétant les objectifs stratégiques de l'entreprise. On se place alors dans la gestion d'un groupe de projets, mené par une division spécialisée dans le domaine de ce groupe. Des ressources fixes ont été attribuées à la division. En considérant un groupe de projets appartenant à une même division, on se place ainsi dans un cas où les projets sont plus homogènes qu'un ensemble de projets établi à l'échelle de l'organisation globale, du fait de leur appartenance à un champ technologique commun.

L'exemple traité comporte 15 projets de R&D. Les données du problème sont divisées en 4 variables qui sont la contribution économique, la contribution scientifique, la contribution sociale et, enfin, les ressources nécessaires.

Les ressources nécessaires constituent les deux intrants du projet. On considère un intrant nommé Contenu du travail (équivalence en termes de temps de travail, exprimé en *FTE*), et le deuxième intrant, appelé Coûts en matières (en termes monétaires, milliers de \$). Chaque projet est évalué suivant 3 extrants, qui sont la Contribution économique (en termes monétaires, milliers de \$), la Contribution scientifique (estimée sur une échelle graduée de 0 à 100) et la Contribution sociale (estimée sur une échelle graduée de 0 à 100). Par ailleurs, chaque projet a une probabilité de succès qui lui est associée (valeur comprise entre 0 et 1).

Les interactions entre les projets apparaissent dans les six matrices du problème: deux matrices pour les intrants, trois matrices pour les extrants et une matrice pour les probabilité de succès. Les interactions deviennent pertinentes lors de la génération des portefeuilles, et interviennent lorsque l'on exécute la cinquième étape de la méthodologie.

Les projets sont tout d'abord évalués individuellement avec le modèle *DEA-BSC*, et suivant les résultats obtenus par le projet, celui-ci est conservé ou évincé en raison d'un manque de performance: intérêt jugé limité, faible efficacité, mauvais équilibre, niveau de risque élevé. C'est ainsi que les 6 projets 10, 3, 14, 12, 14 et 15 sont retirés avant la constitution des portefeuilles. Les portefeuilles finaux seront donc des combinaisons des 9 projets restants, et non plus des combinaisons des 15 projets initiaux.

Le problème est modélisé sous forme matricielle. Les termes diagonaux correspondent aux valeurs d'intrants, extrants ou probabilité de succès propres à chaque projet, tandis que les termes non diagonaux indiquent les interactions entre deux projets. Ces interactions ont pour effet de réduire le coût du portefeuille lorsque deux projets ayant une interaction dans la matrice d'intrant Coûts en matières se retrouve dans le portefeuille final. De la même façon, la probabilité de succès d'un projet peut se voir augmenter si un autre projet avec lequel il interagit est sélectionné dans le portefeuille. Etc. pour l'autre intrant et les extrants.

Une procédure *branch-and-bound* est exécutée. Le portefeuille de départ est vide, c'est-à-dire qu'il n'y a aucun projet. Les branches directement suivantes possèdent un projet, et l'arbre est construit de façon à générer toutes les combinaisons de portefeuilles possibles. La progression d'une branche est arrêtée lorsque l'une des deux contraintes est dépassée. Les contraintes sont de 300 *FTE* et 60 000 \$.

En respectant ces conditions, 56 portefeuilles sont générés, comportant 4 à 6 projets.

Le modèle *DEA-BSC* est une nouvelle fois exécuté, sur les 56 portefeuilles créés. Les portefeuilles sont alors classés par ordre d'attractivité décroissant. Ainsi on a 5 projets ayant l'attractivité optimale de 1,000 et 10 ayant une attractivité supérieure à 0,95.

L'analyse ne retient donc pas un seul portefeuille optimal. Elle réduit plutôt le nombre de portefeuilles potentiels en un nombre gérable de choix alternatifs.

1.2.6.5 Conclusions des auteurs

La méthodologie *DEA-BSC* a été développée dans le but de traiter les données subjectives et incertaines car cela reflète la réalité des problèmes de décisions.

Également, il faut rappeler que plutôt que sélectionner un portefeuille optimal, ou encore se focaliser sur un seul objectif, cette méthode offre un ensemble de portefeuilles dont les projets peuvent interagir.

Les temps de calculs nécessaires sont faibles, de l'ordre de plusieurs secondes seulement pour la génération des portefeuilles.

Cette recherche ouvre la porte à d'autres problèmes, comme celui des problèmes dynamiques. Des analyses de sensibilité peuvent être un moyen de traiter de ce cas.

1.2.6.6 Notre analyse

La méthode proposée s'avère pertinente et s'inscrit parfaitement dans le cadre du problème de sélection de portefeuille de projets.

On retiendra que la méthode a généré 56 portefeuilles constitués de 4 à 6 projets, en un temps raisonnable. Rappelons qu'en ayant initialement 15 projets candidats, le nombre total de combinaisons est de 32 768 portefeuilles (2^{15}). Pour faciliter la sélection, les auteurs ont proposé un classement des portefeuilles basé sur l'intérêt que représente le portefeuille (*attractiveness rating*). Malgré cela, la pondération *a priori* est, en apparence, très stricte, et ne laisse pas d'opportunité au décideur d'affiner sa décision.

Les auteurs ont fait le choix de privilégier l'efficience des portefeuilles. Cela est contestable si l'on considère que les contraintes, généralement des ressources financières, ont été fixées par la haute direction de l'entreprise. L'observation des valeurs des intrants laisse à penser que les auteurs ont appliqué des contraintes strictes, c'est-à-dire qu'aucun portefeuille ne coûte 60 k\$, les plus onéreux coûtent en effet 59 k\$.

Il est un point qu'il est, à notre sens, primordial de noter. En faisant le choix de favoriser l'efficience du portefeuille, c'est-à-dire maximiser le ratio extrants/intrants, on constate que le portefeuille classé premier est en fait moins efficace dans l'absolu que le second, il est même dominé. Il doit son classement à la faible valeur de ses deux intrants qui

permet d'obtenir un ratio élevé malgré de faibles valeurs d'extrants. Un portefeuille sera dit dominé lorsque tous ses extrants sont moins performants que les extrants d'un autre portefeuille.

Portefeuille	Extrant 1	Extrant 2	Extrant 3	Intérêt
1	2416	128	106	1.000
2	2847	197	144	1.000

Tableau 1: Comparaison des portefeuilles 1 et 2 de DEA-BSC

Puisque l'organisation a déterminé les intrants que la division peut utiliser, pourquoi ne pas choisir le portefeuille qui donne les meilleurs extrants absolus?

Les différentes constatations précédentes nous conduisent à proposer une méthodologie de sélection de portefeuille de projets tenant compte de ces remarques, avec notamment le problème de la génération de portefeuilles dominés, et la rigidité des solutions données, c'est-à-dire l'absence de prise en compte des préférences du décideur, ou groupe de décideur, une fois les portefeuilles créés.

CHAPITRE II

PROPOSITION DE MÉTHODOLOGIE

La méthodologie que nous proposons tient compte des remarques formulées suite à l'analyse de l'article faisant référence à l'utilisation du *DEA-BSC*, tout en restant dans un cadre typologiques relativement simple, afin de poser des bases pour de futures études.

2.1 Théorie de la méthodologie proposée

2.1.1 Les typologies retenues

Pour notre méthodologie, outre l'interaction que nous voulons prendre en considération, nous décidons d'utiliser un modèle relativement simple:

	Unicritère	Multicritère
	Statique	Dynamique
	Certitude	Incertitude
Interaction:	Oui	Non
Attribution des fonds:	Partielle	Totale

Tableau 2: Typologies retenues pour notre méthodologie

Le choix du multicritère est basé sur la réalité des projets, qui ne reposent jamais sur un seul et même critère, il convenait donc d'être fidèle à cette vérité.

Les dimensions statique, certitude et attribution totale des ressources constituent, elles, des simplifications du modèle. S'il est entendu qu'aucun projet ne peut être réalisé dans un contexte de certitude, notamment en ce qui concerne sa planification, et que nous pouvons nous accorder à dire que la dimension d'incertitude est également inévitable dans le contexte réel, nous ne prendrons pas cette dimension dans notre méthodologie, afin de ne pas multiplier les difficultés et poser des bases pour de futures recherches.

2.1.2 L'agrégation utilisée

Lors de la revue de littérature, nous avons mis en avant la difficulté d'agréger tous les critères en un seul scalaire, en utilisant une fonction d'utilité multiattribut. A cela s'ajoute la difficulté "physique" consistant à résoudre ce type de problème d'optimisation en un temps polynomial. Les heuristiques sont des modes de résolution capables de fournir des solutions satisfaisantes en un temps raisonnable. Les métaheuristiques, à adapter aux spécificités de chaque problème, sont des outils encore plus efficaces. Dans le contexte d'optimisation multiobjectif (ou multicritère), les métaheuristiques les plus fréquemment utilisées sont appelées algorithmes évolutifs (*evolutionary algorithms*). Les plus connus sont les *MEA* (*Multiobjective Evolutionary Algorithms*), et sont destinés aux problèmes dont la finalité n'est pas le développement de procédures exactes. Une autre méthode, plus récente (2004), est la *MOAMP* (*Multiobjective Metaheuristic using an Adaptive Memory Procedure*), qui la seule technique permettant d'inclure les "bonnes" solutions de la recherche dans l'approximation des frontières optimales: dans une première phase, un ensemble de points efficients est caractérisé, puis, lors de la deuxième phase, la *MOAMP* intensifie sa recherche autour des points initialement qualifiés.

Nous utiliserons une métaheuristique de type *MOAMP* dans notre méthodologie. Cette technique permettra de générer directement des portefeuilles efficients en un laps de temps acceptable.

2.1.3 La notion d'interactivité

Dans la méthode appliquée par les auteurs dans leur étude en méthodologie *DEA-BSC*, nous avons jugé que la pondération *a priori* était un choix contestable, car très rigide. Pour

notre méthodologie, il nous est apparu pertinent de tenir compte des choix du décideur, qui sera alors consulté avant chaque décision.

Une technique possible est celle dite d'"agrégation locale itérative" (Schärlig, 1985). Celle-ci est généralement interactive entre l'homme d'étude et le demandeur et a d'ailleurs également reçu le nom d' "approche du jugement local interactif avec itérations essais-erreur" (Roy, 1985; Maystre et al., 1994) et "méthodes interactives" (Vincke, 1989).

Roy (1985) a décomposé chaque itération en trois étapes :

- ~ recherche: l'homme chargé de l'étude analyse les résultats de l'itération précédente pour pouvoir se faire une meilleure idée des préférences implicites du décideur;
- ~ réinitialisation: l'homme d'étude formule une nouvelle proposition au décideur, en tenant compte de toutes les informations en sa possession;
- ~ réaction: l'avis que le décideur émet sur la nouvelle proposition constitue une nouvelle information que l'homme d'étude prendra en compte pour l'itération suivante.

La procédure prend fin lorsque le décideur est satisfait de la solution proposée par l'homme d'étude.

2.2 Application à un cas de référence

Une fois la métaheuristique et le choix de la méthode de prise en compte de l'interactivité effectués, notre méthodologie est opérationnelle. L'article *Constructing and evaluating balanced portfolio of R&D project with interactions: A DEA based methodology* (H.Eilat, B.Golany et A.Shtub, 2005) mettant en oeuvre la méthode *DEA* est traitée sur un exemple numérique. Nous appliquerons notre méthodologie sur le même exemple que cet article. Cet exemple traite de 15 projets, ayant deux contraintes (les intrants) et trois objectifs m(les extrants).

2.3 Comparaison avec une autre méthodologie

Après que la méthodologie que nous avons proposée ait été mise en œuvre sur le cas de référence, il sera naturellement intéressant de comparer les portefeuilles obtenus avec ceux que la méthode *DEA* a sélectionnés. Les critères d'évaluation restent à définir. La vitesse

d'exécution de la métaheuristique est un des paramètres fondamentaux dans cette approche. En effet, rappelons que nous choisissons d'utiliser un algorithme performant afin de réaliser ces calculs d'aide à la décision en un laps de temps réduit.

Les résultats seront, *a priori*, fonction des préférences du décideur ou groupe de décideurs.

2.4 Génération de portefeuilles

2.4.1 Enjeux/objectifs

Notre approche est motivée par plusieurs aspects, déjà évoqués suite à l'analyse de la méthodologie *DEA-BSC*. Outre l'aspect rapidité de calcul, il nous apparaît primordial que les portefeuilles générés soient à la fois faisables, et non dominés, ce qui n'est pas dans les hypothèses *DEA-BSC*. Il convient désormais de trouver la réponse la mieux adaptée à ce cahier des charges. L'algorithme *MOAMP*, de la famille des métaheuristiques, est tout à fait adapté à ce problème.

2.4.2 Description de la métaheuristique *MOAMP*

Il convient tout d'abord de rappeler que la sélection de portefeuille de projets est un des thèmes des plus actuels dans le champ de connaissances qu'est la Gestion de Projet. Les outils qui se développent en relation avec ce thème font appel à la modélisation mathématique et la recherche opérationnelle. Pourtant, et malgré le nombre croissant et important de travaux dans ce sens, aucun modèle n'est, à ce jour, considéré comme étant la référence. Ceci explique que beaucoup de travaux se consacrent aujourd'hui encore à ce domaine.

De par la complexité calculatoire inhérente à la sélection de portefeuille de projets, les méthodes de résolution exactes sont à exclure pour des raisons de temps de calculs non polynomiaux. Aussi, des algorithmes permettant d'approcher la solution optimale dans des intervalles de temps acceptables ont été développées, il s'agit des heuristiques.

Après avoir présenté quelques métaheuristiques, qui sont une variante de la famille des heuristiques, nous verrons comment celles-ci peuvent être utilisées dans le problème spécifique de la sélection de portefeuille de projets et les ouvertures qu'elles peuvent apporter.

2.4.2.1 Les métaheuristiques

Présentation

A la différence des heuristiques, qui sont programmées spécifiquement pour le problème considéré, les métaheuristiques peuvent être utilisées pour la résolution de problèmes de natures différentes. Il s'agit de stratégies qui ont également la faculté d'accumuler de l'expérience au cours des différentes recherches, ce qui leur permet de mieux orienter leur recherche de l'optimal. L'atteinte de celui-ci n'est jamais garantie par les métaheuristiques, qui sont des méthodes généralement non-déterministes.

Dans les années 1970, les heuristiques étaient utilisées pour des recherches locales, et on trouvait donc uniquement des optima locaux. Sont apparues ensuite les métaheuristiques, avec notamment les méthodes de recherches locales de descente, du recuit simulé et de la recherche Tabou. Développées ces dernières années, les méthodes évolutives telles que les colonies de fourmis et les algorithmes génétiques complètent la liste des métaheuristiques les plus courantes. La recherche dans le domaine des métaheuristiques est très active et de nouvelles variantes apparaissent régulièrement, notamment sous forme d'hybrides, que nous présenterons plus loin. Nous avons choisi ici de distinguer les méthodes dites de recherche locale des méthodes dites évolutives mais il est important de rappeler que plusieurs classifications sont envisageables.

Caballero et al. (2004) ont développé une métaheuristique hybride basée sur une recherche Tabou. Nous verrons par la suite comment celle-ci s'exécute et pourquoi il est particulièrement intéressant de l'utiliser dans le processus de sélection de portefeuille de projets.

La Recherche Tabou

L'objet n'est pas ici de savoir programmer une métaheuristique en recherche Tabou mais bien de sensibiliser le lecteur au fonctionnement global de cette procédure, qui est reprise dans l'algorithme hybride dit de *MOAMP* présenté ultérieurement.

Certaines procédures, telles que le recuit simulé, ont le grand défaut de passer à côté de la solution optimale, sans la voir bien et bien qu'en en étant très proche. La Recherche Tabou ne présente pas cet inconvénient.

Principe de base

La Recherche Tabou est une méthode de recherche locale très adaptée à la résolution de problèmes complexes ou de très grande taille. Cette approche, proposée par Glover en 1986, repose sur plusieurs principes de base.

Tout d'abord, elle autorise la poursuite de la recherche, et cela même si un optimum local a été rencontré, en permettant des déplacements qui n'améliorent pas la solution. Afin d'éviter de retourner dans des zones déjà visitées et ainsi éviter les mouvements cycliques, cette métaheuristique possède une mémoire. Cette mémoire est une caractéristique fondamentale de la recherche Tabou et c'est d'elle qu'elle tire son nom puisque la mémoire est de fait une liste de déplacements ou de solutions non autorisés, soient 'tabous'. Ces interdictions sont temporaires, le nombre d'itérations durant lesquelles elles le sont est un paramètre à configurer et qui peut évoluer au cours de la recherche, pendant les phases diversification et d'intensification. On parle de mémoire à court terme.

La recherche Tabou s'appuie sur deux grands concepts complémentaires, ceux de diversification et d'intensification.

Diversification

La diversification est une exploration qui permet d'éviter les optima locaux. En effet, si un optimal a été trouvé dans une zone de l'espace de recherche, il peut cependant s'agir d'un optimum local. La diversification vise donc à explorer d'autres zones. Il s'agit de se placer dans une nouvelle zone, et on recommence alors la procédure de départ, qui est de

trouver l'optimum local de cette zone, et pour cela on recourt à l'intensification. Cette opération est rendue possible en augmentant la longueur de la liste taboue.

Intensification

Afin de trouver l'optimum d'une région prometteuse, la liste taboue va être réduite, c'est-à-dire qu'elle contiendra moins d'interdictions que dans les autres phases, ce qui augmente les possibilités de déplacements. Dans cette étape, une priorité haute est donnée aux solutions qui sont proches de l'optimal actuel.

Exception sur les tabous

Une particularité de la recherche Tabou est l'autorisation, sous certaines conditions, de déplacements compris dans la liste taboue. Ces conditions répondent au terme de « critère d'aspiration ». Ce critère s'avère déterminant lorsque le déplacement, bien que tabou, est bénéfique. En effet, en respectant la liste taboue, certaines solutions ne pourront pas être approchées, c'est pourquoi le critère d'aspiration est déterminant. Le tabou est retiré si la solution entrevue en effectuant le déplacement interdit est meilleure que la solution optimale actuelle.

Procédure

Voyons les différentes étapes accomplies par la Recherche Tabou:

- 1^{ère} étape: Il faut tout d'abord sélectionner une solution de départ. Le compteur des itérations est à 0
- 2^{ème} étape: Itération, on génère un sous-espace de recherche, voisin de la solution initialement choisie.
- 3^{ème} étape: Sélectionner la meilleure solution du sous-ensemble.

- 4^{ème} étape: Comparer la meilleure solution actuelle (celle de départ dans le cas de la toute première itération) avec la meilleure solution du sous-espace. On garde la meilleure, qui devient la nouvelle solution de référence.
- 5^{ème} étape: Mise à jour des critères d'aspiration et de la liste taboue.
- 6^{ème} étape: Retour à la phase d'itération, 2^{ème} étape, tant que la condition d'arrêt n'est pas rencontrée.

La condition d'arrêt peut être un nombre défini d'itérations, un temps limite ou encore une non-amélioration de la meilleure solution.

Les algorithmes hybrides

Comme évoqué plus haut, ces dernières années ont vu le recours de plus en plus fréquent d'algorithmes appelés hybrides. Diverses formes d'hybridations sont envisageables.

Une première possibilité est de combiner une méthode de recherche locale avec une méthode évolutive. Avec une recherche locale, il est rare de passer outre un optimal sans le voir. La recherche évolutive est, elle, efficace pour trouver des zones de l'espace de recherche potentiellement bonnes. Ainsi après avoir détecté avec la méthode évolutive les régions intéressantes, on y applique la méthode de recherche locale.

Ensuite, une autre possibilité est de lancer plusieurs métaheuristiques en même temps. On peut également lancer plusieurs fois la même métaheuristique paramétrée différemment. Dans un souci de performance, les différentes exécutions menées en parallèle s'échangent les informations à intervalle régulier sur leurs résultats intermédiaires.

Et enfin, il est possible de coupler des métaheuristiques avec des méthodes exactes. La métaheuristique servira à délimiter les bornes dans un cas du type *branch-and-bound*. La méthode exacte permettra de déterminer le meilleur voisin d'une solution.

La méthode MOAMP

La méthode développée par Caballero, Gandibex et Molina (2004) est une des rares si ce n'est, à ce jour, la seule méthode de recherche Tabou qui utilise l'échantillonnage Pareto au lieu de l'échantillonnage indépendant dans le cas de l'optimisation multiobjectifs combinatoire. Cette procédure, la *Multiobjective Metaheuristic using an Adaptive Memory Procedure* déjà citée, est la seule capable de compter n'importe quelle solution visitée pendant la recherche (sous réserve qu'elle soit qualifiée) dans l'approximation finale de la frontière efficiente. Par rapport aux autres méthodes de Recherche Tabou, *MOAMP* se distingue en cherchant les points efficients par un processus d'intensification (qui constitue la seconde phase de la procédure) centré autour d'un premier ensemble de points efficients (première phase de la procédure). Pour générer ce premier ensemble de points efficients, *MOAMP* procède à une série de Recherches Tabou liées entre elles, c'est-à-dire que le dernier point d'une recherche devient le premier point de la suivante. Chaque point visité peut être retenu dans l'ensemble final. Cela est réalisé en contrôlant le critère de domination pour chaque solution autour de son voisinage. Les solutions qui ne sont pas dominées sont déclarées « potentiellement efficientes » et sont ajoutées à une liste qui permet de mettre à jour l'ensemble.

La deuxième phase de *MOAMP* exploite le principe d'optimalité de proximité (*POP*, *Proximate Optimality Principle*) qui dit que les solutions bonnes à un niveau sont probablement proches des bonnes solutions à un niveau adjacent. Dans le cas des optimisations multiobjectifs, le *POP* peut être interprété comme étant un moyen de « connecter » les points efficients par une courbe au sein de l'ensemble efficient. Ainsi la seconde phase de la procédure *MOAMP* intensifie la recherche autour du premier ensemble de points efficients trouvé dans la première phase.

MOAMP est capable de donner une bonne approximation de l'ensemble des solutions efficientes pour les problèmes d'optimisations multiobjectifs. *MOAMP* n'a pas été développée pour résoudre des problèmes particuliers mais pour être une méthode générique apte à procurer des bonnes performances pour une grande variété de problèmes, sans nécessiter de nombreux paramétrages.

2.4.2.2 Application à la sélection de portefeuille de projets

Contexte de la sélection de portefeuille de projets

En gestion de projet, l'activité servant à déterminer quels projets doivent être conservés est une première phase de la sélection de portefeuille de projets. On s'assure notamment que les projets répondent aux objectifs à long terme de l'entreprise et qu'ils sont réalisables. La deuxième phase de la sélection de portefeuille de projets est la création de portefeuilles de projets, c'est-à-dire de combinaisons de projets respectant les contraintes fixées. Cela demande une évaluation numérique des contraintes, qu'elles soient financières, sociales, ou encore qu'elles expriment le besoin en ressources humaines.

H.M. Markowitz (1959) est le premier à avoir proposé, dans les années 50, une démarche scientifique permettant de sélectionner un portefeuille optimal de valeurs mobilières. D'un problème de science financière, la sélection de portefeuille s'est étendue au domaine de la gestion de projet.

La sélection de portefeuille de projets fait énormément appel aux mathématiques, et il est facile d'illustrer le besoin de recourir à des outils mathématiques d'optimisation pour trouver les meilleures solutions. En effet, dans un cas où l'on aurait N projets, il y aurait deux exposant N (2^N) portefeuilles différents. A partir d'un certain nombre de projets, une méthode de résolution exacte s'avère bien trop longue voire même parfois irréalisable dans des temps polynomiaux. Les métaheuristiques constituent l'outil le mieux adapté à la recherche du portefeuille optimal.

La recherche dans ce domaine est très active et il n'y a, à ce jour, pas de modèle ayant été reconnu universellement pour traiter ce cas. De nombreuses méthodes ont déjà été envisagées et nous en proposons également une approche.

La sélection de portefeuille de projets

La littérature recense plusieurs méthodes de sélection de portefeuille de projets. D. Hall et A. Nauda (1990) en proposent une complète, qui distingue quatre types de méthodes:

- Méthodes de mesures des bénéfices (*Benefit measurement method*)
 - o Approches comparatives (*Comparative approaches*)

- Modèles par scores (*Scoring models*)
- Modèles de contribution aux bénéfices (*Benefit contribution model*)
- Modèles de programmation mathématique (*Mathematical programming or constrained optimization method*)
 - Programmation de nombres entiers (*Integer programming*)
 - Programmation linéaire (*Linear programming*)
 - Programmation non-linéaire (*Non-linear programming*)
- Méthodes d'émulation cognitive (*Cognitive Emulation Models*)
 - Modèles de régression (*Regression models*)
 - Arbres de décision (*Decision tree diagramming*)
 - Modèles de processus de décision (*Decision process models*)
 - Méthodes d'experts (*Expert systems*)
- Méthodes ad hoc (*Ad hoc methods*)
 - Méthodes descendantes (*Top down methods*)
 - Prix du génie (*Genius award*)
 - Approches systémiques (*System approaches*)

Notre approche, avec l'utilisation l'algorithme *MOAMP*, correspond au modèle de programmation mathématique, non-linéaire.

MOAMP et la sélection de portefeuille de projets

La métaheuristique de *MOAMP*, présentée précédemment, est une approche qui est très intéressante dans le cas de la sélection de portefeuille de projets.

Dans les approches multicritères, ou multiobjectifs, on distingue deux grandes possibilités de traitement déjà évoquées: soit on agrège tous les critères en un seul scalaire et la difficulté est alors de trouver la fonction d'utilité la mieux adaptée, soit on conserve tous les critères.

La méthode *MOAMP* garde tous les critères, et offre ainsi la possibilité, par exemple, de recourir par la suite à des pondérations sur les critères choisis par le décideur. Cette approche permet donc une interactivité avec le décideur.

L'approche *MOAMP* permet de restreindre considérablement le nombre de portefeuilles prometteurs. De par son principe même, elle va conserver uniquement des portefeuilles efficients. En effet, après avoir sélectionné tous les portefeuilles respectant les contraintes, la métaheuristique gardera uniquement ceux qui ne sont pas dominés. C'est un aspect important qui la démarque des méthodes de type analyse de l'enveloppe de données (*DEA*). Rappelons qu'un portefeuille dominé est un portefeuille qui en tout critère ou tout objectif, est moins bon qu'un autre. Pour peu que les contraintes soient suffisamment sévères, le nombre final de portefeuilles efficients sera nettement inférieur à celui obtenu avec une méthode *DEA* ce qui réduira les possibilités pour la décision finale du portefeuille à retenir.

2.4.2.3 Conclusion

Un cadre tel que la sélection de portefeuille de projets, de par sa diversité et sa complexité, exige l'utilisation d'outils mathématiques évolués et performants.

Une métaheuristique hybride telle que l'algorithme *MOAMP* s'avère être une solution de premier ordre dans ce contexte. La rapidité d'exécution de la méthode est un argument important, mais c'est surtout par deux autres aspects qu'elle se distingue des autres, et qui font d'elle une méthode au potentiel très intéressant. Tout d'abord, elle élimine par elle-même les portefeuilles dominés, c'est-à-dire les portefeuilles qui sont en tout critère moins bon qu'un autre portefeuille. Cela permet un gain de temps supplémentaire. D'autre part, elle autorise une dimension fondamentale, qui est la possibilité de tenir compte des préférences du décideur en autorisant, entre autres, les pondérations.

L'utilisation d'un algorithme *MOAMP* autorise des ouvertures très pertinentes dans le cas de la gestion de projet et plus spécifiquement de la sélection de portefeuille de projets.

2.5 *Prise en compte des préférences*

MOAMP est un algorithme qui nous permet d'avoir des portefeuilles efficaces et aussi non-dominés. Il ne permet cependant pas de hiérarchiser les portefeuilles. Ainsi plusieurs possibilités s'offrent au décideur pour lui permettre de déterminer quel portefeuille choisir, en fonction de ses préférences. Chacune d'elles sera illustrée sur l'exemple numérique:

fréquence d'un même projet dans les portefeuilles créés, favorisation d'un intrant ou d'un extrant, ou encore prise en compte du risque lié à la probabilité de réussite des projets constituant le portefeuille.

La réflexion sur les fréquences repose sur l'idée que si un projet se trouve dans de nombreux portefeuilles, c'est qu'il présente un potentiel intéressant. Ainsi, le décideur peut choisir le portefeuille comprenant les projets qui apparaissent le plus souvent.

Le décideur a parfois besoin de mettre en avant un des extrants. Il est également possible de favoriser les portefeuilles minimisant un ou les deux intrants, car même si tous les portefeuilles finaux répondent aux conditions (ressources) fixées par la direction, des économies sont toujours profitables. Dans le cas où l'on décide de favoriser un extrant, les portefeuilles sont alors classés suivant l'extrant choisi.

Un autre axe de réflexion est relatif à l'aspect « risque » des portefeuilles. Connaissant les probabilités de succès estimées ainsi que les interactions et leurs effets sur la probabilité de réussite, le gestionnaire a la possibilité d'écarter les portefeuilles comprenant des projets à faible probabilité de succès, ou encore favoriser ou non les portefeuilles où les interactions sont importantes. Une réflexion sur le nombre de projets constituant le portefeuille sera également proposée lors de l'application à l'exemple numérique.

Cette interactivité avec le décideur, qui n'est pas permise avec tous les algorithmes de calcul, c'est un meilleur contrôle que nous lui offrons ici en proposant plusieurs solutions de classement des portefeuilles générés.

CHAPITRE III

COMPARAISON DES MÉTHODES *DEA-BSC* / *MOAMP* SUR UN CAS ANALYTIQUE

Afin de pouvoir évaluer notre méthodologie, nous nous proposons de la confronter à la méthodologie *DEA-BSC* sur l'exemple numérique envisagé par les auteurs de cette méthode.

3.1 *Hypothèses et restrictions*

Dans leur article, les auteurs de la méthodologie *DEA-BSC* ont fait le choix d'évincer les projets qui, après analyse individuelle, présentaient des caractéristiques jugées indésirables dans l'optique de la constitution des portefeuilles. C'est ainsi que 6 projets ont été rejetés et afin de pouvoir confronter de manière équitable et comparable les deux méthodologies, nous exécuterons l'algorithme de *MOAMP* sur les 9 projets sélectionnés dans le *DEA-BSC*.

Pour les mêmes raisons, les contraintes que nous appliquerons aux intrants seront strictes.

Ces conditions étant posées, la métaheuristique de *MOAMP* est lancée.

3.2 *Comparaison des portefeuilles obtenus avec les deux méthodes*

Le Professeur Julien Molina a exécuté pour nous l'algorithme *MOAMP*. Celui-ci comporte 5 paramètres de configuration. Voici ces paramètres et les valeurs que le Professeur leur a affectées:

CHAPITRE III: COMPARAISON DES MÉTHODES DEA-BSC / MOAMP SUR UN CAS ANALYTIQUE

Nombre de cycles: 3

Nombre d'itérations Tabou initiales: 2500

Taille de la liste Tabou: 50

Nombre maximum de non-améliorations: 5

Nombre d'intensification maximum: 500

Les résultats obtenus avec la méthode *MOAMP* sont détaillés dans l'appendice D. Avec 9 projets candidats et des contraintes strictes, seuls 7 portefeuilles sont générés. Cette valeur est à comparer aux 56 portefeuilles que le *DEA-BSC* a classés. Rappelons que l'algorithme a créé ces portefeuilles sans établir de hiérarchie entre eux. Le temps de calcul a été de 70.21 secondes, ce qui répond parfaitement à notre problématique de temps de calcul polynomiaux.

Afin de faciliter la comparaison, nous ne retenons que les portefeuilles classés parmi les 10 meilleurs dans la méthode *DEA-BSC*. Parmi ces 10 portefeuilles, 2 sont dominés. Il s'agit des portefeuilles classés respectivement premier et sixième (*Cf.* Appendice A: Portefeuilles dominés). Nous poursuivons donc la comparaison en supprimant ces 2 portefeuilles puisque la méthode *MOAMP* n'autorise pas la création de portefeuille dominé et que nous considérons ces portefeuilles caducs.

Finalement, 6 portefeuilles sont communs aux 7 portefeuilles *MOAMP* et aux 8 portefeuilles *DEA-BSC*. Autrement dit, parmi les 7 portefeuilles que *MOAMP* a générés, un seul ne figure pas dans 8 meilleurs portefeuilles non dominés de la méthodologie *DEA-BSC*. Ce portefeuille figure très certainement dans les autres portefeuilles *DEA-BSC* mais nous ne connaissons malheureusement pas l'intégralité des 56 portefeuilles.

Il est à noter que nous ne trouvons pas les mêmes valeurs sur les extrants 2 et 3 des portefeuilles communs que ceux de Eilat et al. (2005). Une erreur de calcul dans leur article explique cette différence. Nos calculs sont détaillés en Appendice C.

CHAPITRE III: COMPARAISON DES MÉTHODES DEA-BSC / MOAMP SUR UN CAS ANALYTIQUE

Puisque *MOAMP* offre une liste de portefeuilles dépourvue de classement, le décideur se trouve devant une nouvelle prise de décision. Nous illustrerons différentes approches décisionnelles dans l'application numérique sans restriction, traitée dans la partie suivante.

CHAPITRE IV

APPLICATION SUR UN CAS ANALYTIQUE SANS RESTRICTION

4.1 *Conditions*

Les auteurs de l'article *DEA-BSC* ont opté pour des hypothèses que nous ne reprendrons pas pour notre illustration. Ainsi, nous conservons les 15 projets candidats, et nous appliquerons des contraintes non-strictes; les limites de ressources sont strictement celles fixées par l'organisation, à savoir 300 *FTE* et 60 k\$.

Suite à la génération des portefeuilles via *MOAMP*, nous déploierons la suite de notre méthodologie, c'est-à-dire la prise en compte du choix du décideur, en proposant pour cela différentes approches possibles. Nous avons fixé la probabilité de succès du projet 14 à 0.6 pour notre exemple numérique. Les calculs ont également été faits avec $p_{14} = 0.8$, et sont présentés en dans l'Appendice C.

4.2 *Résultats après MOAMP*

Les paramètres de l'algorithme sont identiques au cas précédent, qui avait été réalisé avec 9 projets et non 15. Cette fois-ci le temps de calcul a été de 90.85 secondes, à comparer aux 70.21 secondes du premier cas.

Au cours de notre analyse, nous confronterons nos résultats à ceux du *DEA-BSC*, en formulant des remarques quant aux hypothèses formulées dans chacune des approches.

CHAPITRE IV: APPLICATION SUR UN CAS ANALYTIQUE SANS RESTRICTION

Les conditions étant posées, nous appliquons *MOAMP*. 15 projets sont générés, constitués majoritairement de 6 projets (9 portefeuilles). Seul un portefeuille compte 4 projets. Les 5 portefeuilles restant comprennent 5 projets.

Si aucun portefeuille n'atteint la limite de l'intrant 1 (300 *FTE*), on constate que 6 portefeuilles nécessitent 60 k\$ en intrant 2, soit exactement la limite. Cela démontre que l'hypothèse de contraintes strictes ou non-strictes génère des portefeuilles différents.

On relève 3 projets très utilisés dans les portefeuilles. Il s'agit des projets 2, 3 et 6 utilisés respectivement 12, 13 et 11 fois sur 15 apparitions possibles. Le projet 3 est le projet le plus fréquent, mais fait partie des 6 projets rejetés dans l'approche *DEA-BSC* en raison d'un risque jugé trop élevé. Les auteurs de l'article expriment l'indice de risque par le produit du budget du projet par la probabilité que le projet ne sera pas une réussite.

Comparons les extremums obtenus avec nos hypothèses à ceux obtenus avec *MOAMP* sous les mêmes restrictions que dans l'article *DEA-BSC* (ensemble de 7 portefeuilles):

	Hyp.	Nombre de projets	Intrants		Extrants		
			X1	X2	Y1	Y2	Y3
Maximums	nôtres	6	296	60	5444,6	296,1	245
	DEA-BSC	5	290	59	3304	261,6	198,5
Minimums	nôtres	4	258	51	2006,1	182,3	132,4
	DEA-BSC	4	148	56	2232,5	197,5	125,4

Tableau 3: Comparaison des extrants suivant les hypothèses considérées

Le tableau est éloquent. Notons que les écarts sur les extrants ne sont pas dus au fait que les contraintes soient non-strictes dans un cas et pas dans l'autre, mais bien au fait que certains projets aient été écartés dans les hypothèses du *DEA-BSC*. En effet, nous avons effectué les calculs avec les 9 projets sous contraintes non-strictes (Appendice D) et il s'avère que les extremums des extrants sont exactement identiques.

Le choix effectué par les auteurs de l'article *DEA-BSC* de supprimer certains projets apparaît ici contestable dans la mesure où les portefeuilles générés à partir de la totalité des

15 projets candidats offrent un potentiel nettement supérieur. Rappelons cependant que certains des projets avaient été exclus en raison d'un risque trop important ce qui est un élément important dans ce contexte. C'est le cas des projets 3 et 10. En fait, parmi les 6 projets écartés, 3 ne figurent dans aucun portefeuille, et ce malgré les contraintes moins restrictives. Cela montre le manque d'intérêt de ces projets (9, 10 et 15), même si le projet 10 avait été recalé pour le niveau de risque qu'il présentait, et non pour son manque de performance. Les projets 12 et 14 n'apparaissent que dans un seul portefeuille, ce qui justifie leur évincement pour raison de manque d'efficience. Finalement, seul le projet 3 et sa grande assiduité remet en question les choix des auteurs du *DEA-BSC* sur l'hypothèse relative au risque.

Nous pouvons désormais faire intervenir le gestionnaire, qui a, pour le moment, une liste de portefeuilles. Certes le champ des choix possibles s'est considérablement réduit, mais il reste encore une décision à prendre: sélectionner et retenir un seul portefeuille parmi les 15 potentiellement satisfaisants.

4.3 *Prise en compte des préférences*

4.3.1 *Fréquence*

Nous proposons de constituer le portefeuille ayant les 5 projets les plus fréquents. Il s'agit des projets 1, 2, 3, 6 et 11, présents respectivement dans 8, 12, 13, 11 et 8 portefeuilles. Ce portefeuille existe, et est noté Portefeuille 8. Évaluons ce portefeuille par rapport aux extremums sur les intrant et extrants:

	Nombre de projets	Intrants		Extrants		
		X1	X2	Y1	Y2	Y3
Maximum	6	296	60	5444,6	296,1	245
Portefeuille 8	5	292	53	5150,9	239,5	213
Moyenne	5,53	282,07	57,67	4503,64	243,65	198,83
Minimum	4	258	51	2006,1	182,3	132,4

Tableau 4: Comparaison d'un portefeuille avec les portefeuilles extremums et le portefeuille moyen

Ce tableau met en évidence la bonne performance de ce projet qui, s'il n'égale aucun des maximums, s'avère globalement au dessus de la moyenne. L'extrant 1 est très proche du maximum, l'extrant 3 en est proche également. L'extrant 2 est juste moyen. Le coût de ce portefeuille est le troisième plus faible parmi les 15 projets, ce qui en fait un portefeuille particulièrement efficient.

4.3.2 Favorisation d'un intrant

Même si nous avons convenu de faire l'hypothèse que les ressources attribuées peuvent être totalement utilisées, le décideur peut, au moment de sélectionner le meilleur portefeuille, porter sa préférence sur un portefeuille peu coûteux, en favorisant un des intrants, voire les deux.

Dans l'article *DEA-BSC*, l'indice de risque d'un projet est calculé en utilisant le produit de l'intrant 1 et de l'intrant 2, produit appelé « budget global du projet ». Nous décidons d'effectuer ce même calcul, à l'échelle du portefeuille cette fois-ci et nous effectuerons un classement suivant ce produit.

Le tableau suivant présente le classement de chaque portefeuille sur un des critères (extrant 1, extrant 2, produit). Les portefeuilles classés premiers sont ceux qui minimisent le critère.

NB: Plusieurs portefeuilles présentent la même valeur pour l'extrant 2, ce qui explique pourquoi ils ont un classement identique.

	Intrant 1 (FTE)	Intrant 2 (\$)	Budget global
1er	13	9	13
2	12	15	9
3	6	8	15
4	2	13	8
5	7	4 et 3	2
6	4		12
7	10	7, 2 et 1	6
8	5		4
9	11		7
10	3	14, 12, 11, 10, 6 et 5	3
11	8		1
12	1		10
13	14		5
14	15		11
15	9		14

Tableau 5: Classement des portefeuilles suivants les intrants

Le portefeuille **13** est, à la vue de ce tableau, le portefeuille le plus efficient, avec le meilleur classement global.

4.3.3 Favorisation d'un extrant

De la même façon, le décideur peut avoir une préférence sur un des extrants et voudra, par exemple, favoriser la contribution économique (extrant 2) vis-à-vis des autres extrants. Pour représenter ce mode de réflexion, nous pouvons classer les portefeuilles suivant chaque extrant. Dans le tableau suivant, le portefeuille 3 est celui qui a l'extrant 1 le plus élevé, puis vient le portefeuille 7, puis le 2, etc. Idem sur chaque extrant.

	Extrant 1	Extrant 2	Extrant 3
1er	3	11	15
2	7	6	14
3	2	2	12
4	6	3	13
5	1	7	8
6	9	10	9
7	8	5	1
8	4	4	4
9	5	8	10
10	13	9	5
11	12	1	2
12	15	14	7
13	11	15	3
14	10	12	6
15	14	13	11

Tableau 6: Classement des portefeuilles suivant les extrants

Puisque aucun portefeuille n'est dominé, un portefeuille qui serait parmi les meilleurs sur un extrant à de grandes probabilités d'être relativement mauvais sur l'un des autres extrants. Citons pour exemple le portefeuille **11** qui, s'il est le meilleur sur l'extrant 2, est le plus faible sur l'extrant 3 et médiocre également sur l'extrant 1. Une telle situation en fait un portefeuille que l'on peut qualifier de déséquilibré.

Le portefeuille **4** est remarquable dans la mesure où il semble moyen sur chacun des extrants (toujours huitième). Le choix de ce portefeuille semble raisonnable si on ne veut pas favoriser, et par voie de conséquence défavoriser l'un ou l'autre des extrants.

Une autre façon de choisir le portefeuille est de regarder quel est le plus mauvais classement du portefeuille. Là encore, le portefeuille 4 est celui qui a le « meilleur plus mauvais classement », huitième. Vient ensuite le portefeuille **8**, qui a comme plus mauvais classement une neuvième place. Comparé au portefeuille 4, le portefeuille 8 semble globalement plus performant grâce à ses meilleurs classements sur les deux autres extrants.

4.3.4 Réflexion sur le nombre de projets

Il est un aspect qui peut amener le décideur à privilégier un portefeuille par rapport à un autre ou encore à réduire une nouvelle fois le nombre de portefeuilles en compétition.

Le nombre de projets constituant le portefeuille est un facteur qui nécessite une réflexion car on peut le percevoir comme un indice de risque du portefeuille.

A première vue, plus le nombre de projet compris dans le portefeuille sera grand, moins l'échec d'un de ces projets aura d'impact sur le portefeuille. Ainsi, il apparaît préférable de s'orienter vers un des 9 portefeuilles à 6 projets et non recommandé de choisir le portefeuille 15, le seul qui ne compte que 4 projets.

Il s'agit là d'une approche un peu simpliste. Pour parfaire ce jugement, il faut tenir compte de la probabilité de réussite des projets. En effet, un portefeuille, bien que présentant un nombre de projets réduit, peut s'avérer peu risqué si les projets qui le constituent ont des probabilités de succès élevées. Par ailleurs, il est très intéressant de noter ici que tous les portefeuilles créés comportent des projets ayant au moins une interaction (jusqu'à 3) au niveau des probabilités de succès. Cela signifie que l'échec d'un projet a une incidence encore plus importante sur la dégradation de la performance du portefeuille. Notons qu'il est difficile d'évaluer cette conséquence dans la mesure où les interactions interviennent à différents niveaux et que malgré l'échec d'un projet, certaines contributions ont pu avoir lieu.

4.4 Conclusion sur notre méthodologie

En reconduisant notre méthodologie sous des contraintes revues, nous obtenons des portefeuilles très différents. Ceux-ci sont nettement plus performants, si on prend l'exemple de l'extrait 1 qui passe d'un maximum de 3304 à un « score » de 5444,6. Les contraintes étant moins sévères; nous obtenons 15 propositions de portefeuilles, laissant encore le décideur devant un choix à faire. L'illustration des différentes options s'offrant à lui sur cette application numérique met en évidence qu'aucun portefeuille ne pourra être jugé meilleur qu'un autre. Cet arbitrage est fonction des préférences du décideur qui pourra établir son propre classement, suivant une ou plusieurs de ses préférences, et prendre la décision finale.

CONCLUSION

Nous avons proposé de comparer notre méthodologie à une méthodologie récente. L'analyse a été réalisée de façon à ce que les résultats soient comparables. La principale différence que l'on doit mentionner est le nombre de portefeuilles générés. En effet, la méthode *DEA-BSC* propose 56 portefeuilles et la méthode *MOAMP* seulement 7. Par ailleurs, la méthode *DEA-BSC* a produit des portefeuilles que l'on a qualifiés de dominés ce qui, à notre sens, les rend dépourvus d'intérêt. Une fois ces portefeuilles écartés, il est intéressant de constater que 6 portefeuilles sont communs aux deux méthodes et surtout qu'ils font partie des 8 meilleurs de la méthode *DEA-BSC*. Cela montre la performance de l'algorithme *MOAMP* qui facilite le travail du décideur en proposant un nombre nettement réduit de portefeuilles qui, en regard des critères *DEA-BSC*, sont très bons.

Les temps de calcul sont extrêmement satisfaisants, et varient relativement peu entre un cas à 9 projets et un cas à 15 projets.

Concernant les hypothèses faites par les auteurs du *DEA-BSC*, deux d'entre elles ont une influence importante sur les portefeuilles finalement obtenus. Il s'agit des hypothèses sur l'évaluation des risques, et l'application de contraintes strictes, qui restreignent les conditions et ainsi les portefeuilles créés. Cela est tout à fait perceptible lors de l'exécution de notre méthodologie sur un cas sans restriction. Les portefeuilles alors obtenus sont nettement meilleurs, c'est-à-dire que les extrants sont nettement plus élevés que dans un cas restreint. Là encore le nombre de portefeuilles est relativement faible (15) et nous avons proposé différentes orientations de classement, parfois cumulables, qui vise à prendre en compte les préférences du décideur. Celui-ci aura alors plus de facilité à sélectionner un portefeuille qui répond à ses critères, en plus des contraintes initiales.

CONCLUSION

Le travail proposé répond aux objectifs initiaux de proposition d'une méthodologie de sélection de portefeuilles de projets à la fois rapide et interactive.

Une des difficultés de la méthodologie réside en la constitution des différentes matrices. Cela demande une appréciation très juste des différentes variables, sous peine d'obtenir des portefeuilles qui finalement ne s'avèreront pas aussi efficaces qu'escompté, voire même d'évincer des projets et/ou portefeuilles qui auraient été excellents en regard des contraintes.

Il faut rappeler que les typologies retenues pour ce travail restent basiques, exceptions faites des interactions entre projets et de l'approche multicritère. Nous posons donc les bases pour un travail plus large, qui fera intervenir la dimension dynamique des projets, l'attribution partielle des fonds, ou encore, et non des moindres, l'incertitude, qui sont bien des réalités en gestion de projet.

APPENDICE A

PORTEFEUILLES DOMINÉS

Le tableau suivant permet de mettre en évidence les portefeuilles qui sont dominés. Seuls les 10 premiers portefeuilles générés par la méthode *DEA-BSC* sont présentés ici.

La procédure a été la suivante: comparaison de l'intrant d'un portefeuille avec l'intrant du portefeuille directement suivant. Lorsque la valeur de l'intrant de référence est inférieure à celle de l'intrant du portefeuille suivant, l'intrant est repéré est gras. Si tous les intrants sont en gras, alors cela signifie que tous les intrants sont inférieurs à ceux d'un autre portefeuille moins bien classé, ce qui est synonyme de domination.

Classement	X1	X2	Y1	Y2	Y3	
1er	104	54	2416	128	106	Dominé
2	148	57	2847	197	144	
3	270	56	2349	249	195	
4	290	57	2561	220	227	
5	227	57	3304	191	175	
6	156	54	2682	196	131	Dominé
7	266	58	2936	198	206	
8	237	58	2578	200	197	
9	237	58	2344	173	217	
10	217	57	2101	191	199	

Tableau 7: Mise en évidence des portefeuilles *DEA-BSC* dominés

APPENDICE A: PORTEFEUILLES DOMINÉS

Suite à ce tableau, nous retirons les portefeuilles *DEA-BSC* 1 et 6 de notre comparaison avec la méthodologie *MOAMP*.

APPENDICE B

MATRICES DE L'APPLICATION NUMÉRIQUE

U¹, matrice d'interactions des ressources de l'intrant Contenu du travail (équivalence en termes de temps de travail, exprimée en *FTE*)

[illegible]

APPENDICE B: MATRICES DE L'APPLICATION NUMÉRIQUE

U^2 , matrice d'interactions des ressources de l'intrant Coûts en matières (en termes monétaires, milliers de \$)

$$\begin{pmatrix} 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 18 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 0 & 0 & 21 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 13 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 14 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 \end{pmatrix}$$

APPENDICE B: MATRICES DE L'APPLICATION NUMÉRIQUE

V^1 , matrice d'interactions de l'extrait Contribution économique (en termes monétaires, milliers de \$)

158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	3101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
370	0	0	137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1312	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	940	0	0	0	429	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	200	0	0	0	785	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	276	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	85	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1700	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	985	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	382	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	516	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	218	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25

APPENDICE B: MATRICES DE L'APPLICATION NUMÉRIQUE

V^2 , matrice d'interactions de l'extrait Contribution scientifique (estimée sur une échelle graduée de 0 à 100)

30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	5	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	95	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	50	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20

V^3 , matrice d'interactions de l'extrait Contribution sociale (estimée sur une échelle graduée de 0 à 100)

40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	15	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	40	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	0	0
0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	10	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15

APPENDICE B: MATRICES DE L'APPLICATION NUMÉRIQUE

P, Matrice d'interactions de réalisation

$$\begin{pmatrix} 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 \end{pmatrix}$$

APPENDICE B: MATRICES DE L'APPLICATION NUMÉRIQUE

P, Matrice d'interactions de réalisation

$$\begin{pmatrix} 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 \end{pmatrix}$$

APPENDICE B: MATRICES DE L'APPLICATION NUMÉRIQUE

Z , vecteur représentant la sélection de projets dans un portefeuille ($z_j \approx 1$ si le projet j est compris dans le portefeuille, il vaut 0 sinon)

$$\begin{pmatrix} z01 \\ z02 \\ z03 \\ z04 \\ z05 \\ z06 \\ z07 \\ z08 \\ z09 \\ z10 \\ z11 \\ z12 \\ z13 \\ z14 \\ z15 \end{pmatrix}$$

APPENDICE C

CALCULS – LOGICIEL MATHEMATICA

C.1	FONCTIONS UTILISÉES DANS LE LOGICIEL	64
C.2	CALCULS	64
C.3	INTRANTS.....	65
C.4	EXTRANTS.....	65

C.1 Fonctions utilisées dans le logiciel

Expand: cette fonction permet d’afficher le résultat du calcul sous forme totalement développée et non sous forme factorisée.

Extract: cette commande sert à sélectionner les termes d’une matrice, définis en complétant la fonction par les indices de ligne et colonne du terme.

Transpose: dans notre cas, permet de transposer un vecteur ligne en vecteur colonne, et réciproquement.

C.2 Calculs

Il faut que le portefeuille final soit tel que le montant de ressources utilisées soit inférieur à la contrainte fixée sur chaque ressource.

Pour l’intrant 1, elle vaut 300 *FTE*, et vaut 60 k\$ pour l’intrant 2.

La relation sur les extrants est une fonction à maximiser.

Rappelons que les intrants et les extrants sont notés respectivement x et y . Les relations utilisées sont reprises de l’article *DEA-BSC* et traduite en langage Mathematica, qui est un logiciel de mathématiques.

C.3 Intrants

Relation mathématique à convertir en langage Mathematica

$$\hat{x}_{ik} = z'_k U^i z_k, \quad \forall i, k.$$

Intrant 1

```
X1 = Expand[Transpose[Z].U1.Z]
```

$$\left\{ \left\{ 10 z_{01}^2 - z_{01} z_{02} + 11 z_{02}^2 - 4 z_{02} z_{03} + 114 z_{03}^2 - 2 z_{01} z_{04} + 13 z_{04}^2 + 54 z_{05}^2 + 63 z_{06}^2 + 49 z_{07}^2 - z_{03} z_{08} + 19 z_{08}^2 + 11 z_{09}^2 + 111 z_{10}^2 - 15 z_{07} z_{11} + 99 z_{11}^2 + 35 z_{12}^2 + 74 z_{13}^2 + 22 z_{14}^2 + 36 z_{15}^2 \right\} \right\}$$

Intrant 2

```
X2 = Expand[Transpose[Z].U2.Z]
```

$$\left\{ \left\{ 8 z_{01}^2 + 18 z_{02}^2 + 5 z_{03}^2 - z_{03} z_{04} + 7 z_{04}^2 - 4 z_{02} z_{05} + 21 z_{05}^2 + 7 z_{06}^2 - z_{05} z_{07} + 20 z_{07}^2 + 4 z_{08}^2 + 13 z_{09}^2 + 3 z_{10}^2 + 15 z_{11}^2 - 2 z_{08} z_{12} + 9 z_{12}^2 + 14 z_{13}^2 + 8 z_{14}^2 + 9 z_{15}^2 \right\} \right\}$$

C.4 Extrants

Relation mathématique à convertir en langage Mathematica

$$\hat{y}_{rk} = \sum_{j=1}^{n_p} z_{jk} \left(\sum_{\ell=1}^{n_p} p_{j\ell} z_{\ell k} \right) \left[y_{rj} + \sum_{i=1}^{j-1} v_{ji} \left(\sum_{\ell=1}^{n_p} p_{i\ell} z_{\ell k} \right) z_{ik} \right].$$

Extrant 1, p14 = 0.6

`i = 1;`

`Sum[Extract[P06, {i, 1}] * Extract[Z, {1}], {i, 1, 15}]`

`{0.6 z01 + 0.2 z05}`

`Expand[`

`Sum[Extract[Z, {j}] * (Sum[Extract[P06, {j, 1}] * Extract[Z, {1}], {j, 1, 15}] *
 (Extract[V1, {j, j}]) +
 Sum[Extract[V1, {j, i}] * (Sum[Extract[P06, {i, 1}] * Extract[Z, {1}], {i, 1, 15}] * Extract[Z, {i}]), {i, 1, j-1}]]]`

`{94.8 z012 + 930.3 z022 + 1550.5 z02 z03 + 744. z032 + 95.9 z042 + 155.4 z012 z042 +
 31.6 z01 z05 + 51.8 z01 z042 z05 + 918.4 z052 + 343.2 z062 + 225.6 z022 z062 +
 376. z02 z03 z062 + 706.5 z072 + 108. z032 z072 + 27.6 z03 z08 + 138. z082 + 68. z092 +
 680. z102 + 886.5 z112 + 191. z122 + 154.8 z11 z13 + 258. z132 + 130.8 z142 + 17.5 z152}}`

Extrant 2, p14 = 0.6

$$\begin{aligned}
 & \text{Expand} \left[\sum_{j=1}^{15} \left(\text{Extract}[Z, \{j\}] * \left(\sum_{l=1}^{15} \text{Extract}[P06, \{j, l\}] * \text{Extract}[Z, \{l\}] \right) * \right. \right. \\
 & \quad \left(\text{Extract}[V2, \{j, j\}] + \right. \\
 & \quad \left. \left. \sum_{i=1}^{j-1} \text{Extract}[V2, \{j, i\}] * \left(\sum_{l=1}^{15} \text{Extract}[P06, \{i, l\}] * \text{Extract}[Z, \{l\}] \right) * \text{Extract}[Z, \{i\}] \right) \right] \\
 & \{18. z01^2 + 27. z02^2 + 45. z02 z03 + 42. z03^2 + 7. z04^2 + 1.05 z02^2 z04^2 + \\
 & \quad 1.75 z02 z03 z04^2 + 6. z01 z05 + 63. z05^2 + 4.2 z01^2 z05^2 + 1.4 z01 z05^3 + \\
 & \quad 76. z06^2 + 85.5 z07^2 + 1.5 z03 z08 + 7.5 z08^2 + 8. z09^2 + 28. z04^2 z09^2 + \\
 & \quad 36. z10^2 + 31.5 z11^2 + 12.5 z12^2 + 21. z11 z13 + 35. z13^2 + 12. z14^2 + 14. z15^2\}
 \end{aligned}$$

Extrant 3, p14 = 0.6

$$\begin{aligned}
 & \text{Expand}\left[\sum_{j=1}^{15} \left(\text{Extract}[Z, \{j\}] * \left(\sum_{l=1}^{15} \text{Extract}[P06, \{j, l\}] * \text{Extract}[Z, \{l\}] \right) * \right. \right. \\
 & \quad \left. \left(\text{Extract}[V3, \{j, j\}] \right) + \right. \\
 & \quad \left. \left. \sum_{i=1}^{j-1} \text{Extract}[V3, \{j, i\}] * \left(\sum_{l=1}^{15} \text{Extract}[P06, \{i, l\}] * \text{Extract}[Z, \{l\}] \right) * \text{Extract}[Z, \{i\}] \right) \right] \\
 & \{24. z01^2 + 28.5 z02^2 + 47.5 z02 z03 + 12. z03^2 + 14. z04^2 + 3.15 z02^2 z04^2 + \\
 & \quad 5.25 z02 z03 z04^2 + 8. z01 z05 + 28. z05^2 + 20. z06^2 + 22.4 z05^2 z06^2 + 18. z07^2 + \\
 & \quad 1. z03 z08 + 5. z08^2 + 8. z09^2 + 14.4 z01^2 z09^2 + 4.8 z01 z05 z09^2 + 38. z10^2 + \\
 & \quad 81. z11^2 + 7.5 z12^2 + 28.5 z11 z13 + 47.5 z13^2 + 6. z14^2 + 14.4 z06^2 z14^2 + 10.5 z15^2\}
 \end{aligned}$$

Extrant 1, p14 = 0.8

$$\begin{aligned}
 & \text{Expand} \left[\sum_{j=1}^{15} \left(\text{Extract}[Z, \{j\}] * \left(\sum_{l=1}^{15} \text{Extract}[P08, \{j, l\}] * \text{Extract}[Z, \{l\}] \right) * \right. \right. \\
 & \quad \left. \left(\text{Extract}[V1, \{j, j\}] + \sum_{i=1}^{j-1} \text{Extract}[V1, \{j, i\}] * \left(\sum_{l=1}^{15} \text{Extract}[P08, \{i, l\}] * \text{Extract}[Z, \{l\}] \right) * \text{Extract}[Z, \{i\}] \right) \right] \\
 & \{ 94.8 \, z_{01}^2 + 930.3 \, z_{02}^2 + 1550.5 \, z_{02} \, z_{03} + 744. \, z_{03}^2 + 95.9 \, z_{04}^2 + 155.4 \, z_{01}^2 \, z_{04}^2 + \\
 & \quad 31.6 \, z_{01} \, z_{05} + 51.8 \, z_{01} \, z_{04}^2 \, z_{05} + 918.4 \, z_{05}^2 + 343.2 \, z_{06}^2 + 225.6 \, z_{02}^2 \, z_{06}^2 + \\
 & \quad 376. \, z_{02} \, z_{03} \, z_{06}^2 + 706.5 \, z_{07}^2 + 108. \, z_{03}^2 \, z_{07}^2 + 27.6 \, z_{03} \, z_{08} + 138. \, z_{08}^2 + 68. \, z_{09}^2 + \\
 & \quad 680. \, z_{10}^2 + 886.5 \, z_{11}^2 + 191. \, z_{12}^2 + 154.8 \, z_{11} \, z_{13} + 258. \, z_{13}^2 + 174.4 \, z_{14}^2 + 17.5 \, z_{15}^2 \}
 \end{aligned}$$

Extrait 2, p14 = 0.8

$$\begin{aligned}
 & \text{Expand} \left[\sum_{j=1}^{15} \left(\text{Extract}[Z, \{j\}] * \left(\sum_{l=1}^{15} \text{Extract}[P08, \{j, l\}] * \text{Extract}[Z, \{l\}] \right) * \right. \right. \\
 & \quad \left. \left(\text{Extract}[V2, \{j, j\}] + \sum_{i=1}^{j-1} \text{Extract}[V2, \{j, i\}] * \left(\sum_{l=1}^{15} \text{Extract}[P08, \{i, l\}] * \text{Extract}[Z, \{l\}] \right) * \text{Extract}[Z, \{i\}] \right) \right] \\
 & \{18. z01^2 + 27. z02^2 + 45. z02 z03 + 42. z03^2 + 7. z04^2 + 1.05 z02^2 z04^2 + \\
 & \quad 1.75 z02 z03 z04^2 + 6. z01 z05 + 63. z05^2 + 4.2 z01^2 z05^2 + 1.4 z01 z05^3 + \\
 & \quad 76. z06^2 + 85.5 z07^2 + 1.5 z03 z08 + 7.5 z08^2 + 8. z09^2 + 28. z04^2 z09^2 + \\
 & \quad 36. z10^2 + 31.5 z11^2 + 12.5 z12^2 + 21. z11 z13 + 35. z13^2 + 16. z14^2 + 14. z15^2\}
 \end{aligned}$$

Extrait 3, p14 = 0.8

$$\begin{aligned}
 &\text{Expand}\left[\sum_{j=1}^{15} \left(\text{Extract}[Z, \{j\}] * \left(\sum_{l=1}^{15} \text{Extract}[P08, \{j, l\}] * \text{Extract}[Z, \{l\}] \right) * \right. \right. \\
 &\quad \left(\text{Extract}[V3, \{j, j\}] \right) + \\
 &\quad \left. \left. \sum_{i=1}^{j-1} \text{Extract}[V3, \{j, i\}] * \left(\sum_{l=1}^{15} \text{Extract}[P08, \{i, l\}] * \text{Extract}[Z, \{l\}] \right) * \text{Extract}[Z, \{i\}] \right) \right] \\
 &\{24. \text{Z01}^2 + 28.5 \text{Z02}^2 + 47.5 \text{Z02} \text{Z03} + 12. \text{Z03}^2 + 14. \text{Z04}^2 + 3.15 \text{Z02}^2 \text{Z04}^2 + \\
 &\quad 5.25 \text{Z02} \text{Z03} \text{Z04}^2 + 8. \text{Z01} \text{Z05} + 28. \text{Z05}^2 + 20. \text{Z06}^2 + 22.4 \text{Z05}^2 \text{Z06}^2 + 18. \text{Z07}^2 + \\
 &\quad 1. \text{Z03} \text{Z08} + 5. \text{Z08}^2 + 8. \text{Z09}^2 + 14.4 \text{Z01}^2 \text{Z09}^2 + 4.8 \text{Z01} \text{Z05} \text{Z09}^2 + 38. \text{Z10}^2 + \\
 &\quad 81. \text{Z11}^2 + 7.5 \text{Z12}^2 + 28.5 \text{Z11} \text{Z13} + 47.5 \text{Z13}^2 + 8. \text{Z14}^2 + 19.2 \text{Z06}^2 \text{Z14}^2 + 10.5 \text{Z15}^2\}
 \end{aligned}$$

APPENDICE D

PORTEFEUILLES OBTENUS APRÈS *MOAMP*

D.1	INFORMATIONS CONTENUES DANS LES TABLEAUX	73
D.2	9 PROJETS, CONTRAINTES STRICTES	74
D.3	9 PROJETS, CONTRAINTES NON-STRICTES	75
D.4	15 PROJETS, $P14 = 0.6$, CONTRAINTES STRICTES.....	76
D.5	15 PROJETS, $P14 = 0.8$, CONTRAINTES STRICTES.....	77
D.6	15 PROJETS, $P14 = 0.6$, CONTRAINTES NON STRICTES.....	78
D.7	15 PROJETS, $P14 = 0.8$, CONTRAINTES NON STRICTES.....	79

Afin de pouvoir comparer notre méthodologie à celle *DEA-BSC*, nous avons réduit le nombre de projets, qui passe de 15 à 9 projets. De même, suite à une incohérence dans l'article *DEA-BSC*, nous avons fait les calculs avec deux valeurs différentes pour la probabilité de succès du projet 14, notée p_{14} . On a $p_{14} = 0.6$ ou $p_{14} = 0.8$. Toujours dans un souci de comparaison avec notre référence *DEA-BSC*, nous avons effectué les calculs avec des contraintes strictes ou non strictes.

D.1 Informations contenues dans les tableaux

Les portefeuilles générés par l'algorithme de *MOAMP* sont numérotés mais il ne s'agit pas d'un classement. En effet, *MOAMP* ne sert pas à comparer entre eux les portefeuilles proposés.

Les projets sont numérotés de 1 à 15 et leur indice Z permet de savoir si le projet fait partie du portefeuille ou non (respectivement $Z=1$ et $Z=0$). Rappelons que ce sont les projets 3, 9, 10, 12, 14 et 15 qui ont été écartés de l'évaluation *DEA-BSC*.

Pour chaque portefeuille, sont indiqués: le nombre de projets constituant le portefeuille et les valeurs des intrants et extrants. Dans le cadre de la comparaison avec les portefeuilles *DEA-BSC*, une colonne intitulée « Equivalent *DEA-BSC* » permet de connaître les correspondances entre les portefeuilles des deux méthodes.

La ligne « Fréquence » indique le nombre de fois où le projet figure dans les portefeuilles. Afin de faciliter la visualisation de cette fréquence, un graphique à barres est dessiné, avec en ordonnée le nombre de fois que le projet est présent dans un portefeuille. Une ligne horizontale permet d'indiquer la limite, c'est-à-dire le nombre de portefeuilles.

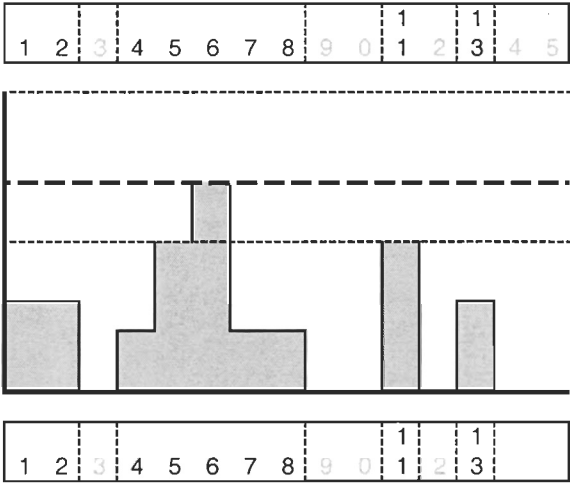
Les maximums sur chaque critère – intrants et extrants, fréquence, nombre de projets – sont repérés en gras dans les tableaux. Les minimums sont, eux, en italique.

Le projet 14 ne figure pas dans les 9 projets retenus dans l'article *DEA-BSC*, la probabilité de succès de ce projet n'intervient pas dans les calculs et ne perturbe ainsi pas la comparaison des deux méthodes.

D.1 9 projets, contraintes strictes

Portefeuilles	Projets (Z)															Nombre de projets
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5		
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	4
2	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
3	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
4	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
5	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	5
6	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	5
7	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	4
Fréquence	3	3	2	2	5	7	2	2	2	2	5	3	2	2	2	

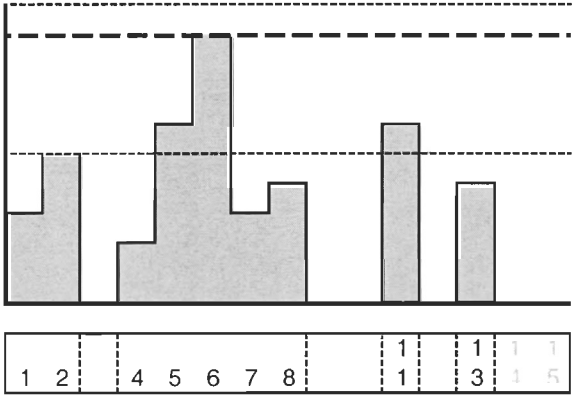
Intrants		Extrants			Equivalent DEA-BSC
X1	X2	Y1	Y2	Y3	
290	57	2560,9	226,5	198,9	4
237	58	2577,6	207,1	197,4	8
227	57	3304	197,5	179,9	5
148	57	2847	203,65	148,05	2
266	58	2936,4	198	182	7
195	59	2232,5	261,6	125,4	/
270	56	2349	249	166,5	3



D.2 9 projets, contraintes non-strictes

Portefeuilles	Projets (Z)															Nombre de projets
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5		
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	4	
2	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	5	
3	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4	
4	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
5	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	5	
6	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	5	
7	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	4	
8	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	5	
9	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	5	
Fréquence	3	5	0	2	6	9	3	4	0	6	0	4	0	0		

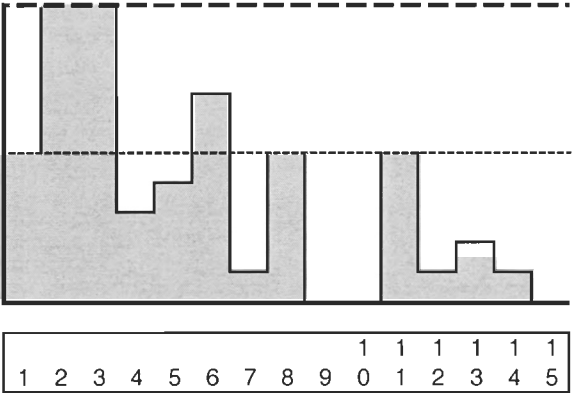
Intrants		Extrants		
X1	X2	Y1	Y2	Y3
290	57	2560,9	226,5	198,9
237	58	2577,6	207,1	197,4
227	57	3304	197,5	179,9
148	57	2847	203,65	148,05
221	60	2813,5	208,5	151,4
266	58	2936,4	198	182
207	60	3092,1	220	147,5
289	60	2487	256,5	171,5
195	59	2232,5	261,6	125,4



D.1 15 projets, $p_{14} = 0.6$, contraintes strictes

Portefeuilles	Projets (Z)															Nombre de projets
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	
1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6
2	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
3	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	6
4	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	6
5	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	6
6	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
7	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
8	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
9	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	4
10	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	5
Fréquence	5	10	10	3	4	7	1	5	0	0	5	1	2	1	0	

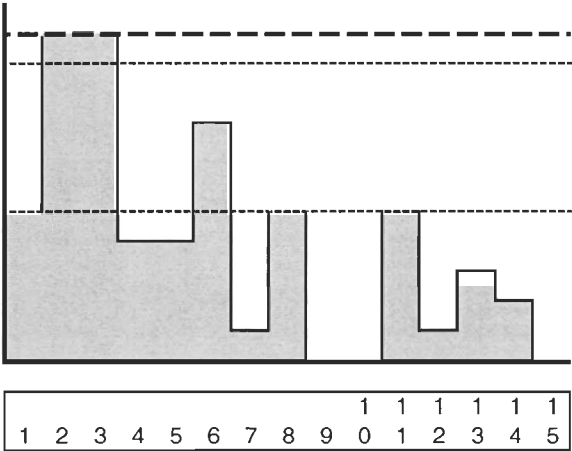
Intrants		Extrants		
X1	X2	Y1	Y2	Y3
278	58	4773,7	252,8	201,9
265	59	5380	291,6	196,4
278	59	5384,4	274	184,8
291	58	5444,6	274,5	171,9
258	56	4623	182,3	221,4
296	51	5152	231,3	211,4
292	53	5150,9	239,5	213
242	58	5078,9	293,5	150
294	52	4524,1	201,5	245
292	59	5195,3	217,5	203



D.2 15 projets, $p_{14} = 0.8$, contraintes strictes

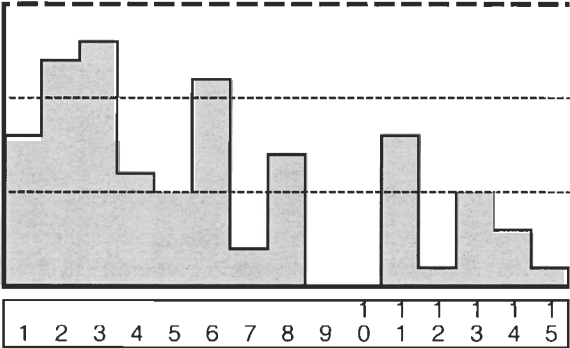
Portefeuilles	Projets (Z)															Nombre de projets
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	
1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6
2	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
3	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	6
4	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	6
5	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	6
6	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	6
7	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
8	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
9	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
10	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	5
11	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	4
Fréquence	5	11	11	4	4	8	1	5	0	0	5	1	3	2	0	

Intrants		Extrants		
X1	X2	Y1	Y2	Y3
278	58	4773,7	252,8	201,9
265	59	5380	291,6	196,4
278	59	5384,4	274	189,6
291	58	5444,6	274,5	171,9
293	58	4654,3	246,8	203,1
258	56	4623	182,3	221,4
296	51	5152	231,3	211,4
292	53	5150,9	239,5	213
242	58	5078,9	293,5	150
292	59	5195,3	217,5	203
294	52	4524,1	201,5	216,5



D.3 15 projets, p14 = 0.6, contraintes non strictes

Portefeuilles	Projets (Z)															Nombre de projets
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	
1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	5
2	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
3	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	6
4	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6
5	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	6
6	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	6
7	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	6
8	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
9	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
10	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	5
11	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
12	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	6
13	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	6
14	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	6
15	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	4
Fréquence	8	12	13	6	5	11	3	7	0	0	8	1	5	3	1	

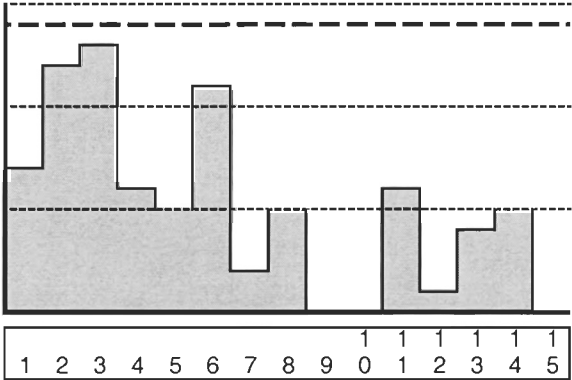


Intrants		Extrants		
X1	X2	Y1	Y2	Y3
292	59	5195,3	217,5	203
265	59	5380	291,6	196,4
291	58	5444,6	274,5	171,9
278	58	4773,7	252,8	201,9
289	60	4653,2	255	199,9
264	60	5245,6	294,3	154,4
278	59	5384,4	274	184,8
292	53	5150,9	239,5	213
296	51	5152	231,3	211,4
289	60	2487	256,5	200
290	60	2946,5	296,1	132,4
262	60	4588,2	185,3	221,4
258	56	4623	182,3	221,4
293	60	2006,1	202,5	225,5
294	52	4524,1	201,5	245

D.4 15 projets, $p_{14} = 0.8$, contraintes non strictes

Portefeuilles	Projets (Z)															Nombre de projets
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	
1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	5
2	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
3	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	6
4	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	6
5	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	6
6	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6
7	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	6
8	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
9	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
10	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	6
11	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5
12	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
13	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	6
14	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	4
Fréquence	7	12	13	6	5	11	2	5	0	0	6	1	4	5	0	

Intrants		Extrants		
X1	X2	Y1	Y2	Y3
292	59	5195,3	217,5	203
265	59	5380	291,6	196,4
278	59	5428	278	191,6
291	58	5444,6	274,5	171,9
293	58	4697,9	250,8	205,1
278	58	4773,7	252,8	201,9
264	60	5245,6	294,3	154,4
292	53	5150,9	239,5	213
296	51	5152	231,3	211,4
262	60	4631,8	189,3	223,4
289	60	4696,8	259	206,7
290	60	2946,5	296,1	132,4
279	59	2163	204,5	213,7
294	52	4524,1	201,5	216,5



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Anthony, R.N., Herzlinger, R.E., (1980). Management Control in Nonprofit Organizations. *Irwin, Inc., Homewood, IL*.

Arbel, A., (1989). Approximate Articulation of Preference and Priority Derivation, *European Journal of Operational Research*, Vol. 43, pp. 317 - 326.

Archer, N.P., Ghasemzadeh, F., (1996). Portfolio Selection Techniques: A Review and a Suggested Integrated Approach, in *Dye, L.D., Pennypacker, J.S., (eds). Project Portfolio Management: Selecting and Prioritizing Projects for Competitive Advantage*, Center for Business Practices (October 1999).

Archer, N.P., Ghasemzadeh, F., (1999). An Integrated Framework for Project Portfolio Selection, *International Journal of Project Management*, Vol. 17, pp. 207 - 216.

Caballero, R., X. Gandibleux, and J. Molina (2004) "MOAMP- A Generic Multiobjective Metaheuristic using an Adaptive Memory", Technical Report, University of Valenciennes, France.

Carrizosa, E., Conde, E., Fernandez, F.R., Puerto, J., (1995). Multi-criteria Analysis with Partial Information about the Weighting Coefficients, *European Journal of Operational Research*, Vol. 81, pp. 291 - 301.

Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 2, 429-444.

Cooper, R. G., Edgett, S. J. & al. (1997). *Portfolio management in new product development: lessons from the leaders. Research Technology Management*. 40: 43-52.

Cooper, R. G., Kleinschmidt, E.J. (1987). *What makes a new product a winner: success factors at the project level. R&D Management*. 17: 175-189.

- Cooper, R.G., Edgett, S.J., Kleinshmidt, E.J., (1997). Portfolio Management for New Products. *McMaster University, Hamilton, ON*.
- Corner, J.L., Kirkwood, C.W., (1991). Decision Analysis Applications in the Operations Research Literature, 1970 - 1989, *Operations Research*, Vol. 39, pp. 206 - 219.
- Ehrgott, M. and X. Gandibleux. (2000). "A Survey and Annotated Bibliography of Multiobjective Combinatorial Optimization." *OR Spektrum* 22, 425–460.
- Eilat, H., Golany, B., Shtub, A., (2005). Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: A DEA based methodology, *European Journal of Operational Research*.
- Eum, Y.S., Park, K.S., Kim, S.H., (2001). Establishing Dominance and Potential Optimality in Multi-Criteria Analysis with Imprecise Weight and Value, *Computers & Operations Research*, Vol. 28, pp. 397 - 409.
- Fernez-Walch, S., La problématique de portefeuille de projets : finalités et mise en oeuvre" dans Faire de la recherche en management de projet, coordonné par Garel, G., Giard, V., Midler, C., Vuibert, 2004, pp. 209-224, Collection FNEGE
- Focke, A., Stummer, C. (2003). Strategic Technology Planning in Hospital Management, *OR Spectrum*, Vol. 25, pp. 161 - 182.
- Gareis, R. (1990). *Management by projects: the management strategy of the "new" project-oriented company*. Handbook of management by projects. R. Gareis. Vienne, Manz: 35-47.
- Geoffrion, A.M., Dyer, J.S., Fienberg, A., (1972). An Interactive Approach for Multi-Criterion Optimization, with an Application to the Operation of an Academic Department, *Management Science*, Vol. 19, pp. 357 - 368.
- Glover, F. (1986), Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence, *Computers & Operations Research*, Vol.13, N° 5; pg. 533, 17 pgs
- Graves S., Ringuest J. (1999), Formulating R&D portfolios that account for risk, *Research Technology Management*, V.42-6, pp. 40-43

- Guy, E. et Urli, B. (2006). Port Selection and Multicriteria Analysis: An Application to the Montreal-New York Alternative, *Maritime Economics & Logistics*, 8, 169–186.
- Hall, D.L. and Nauda, A.(1990), An Interactive Approach for Selecting IR&D Projects, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 37, No. 2; p. 126-134.
- Hallerbach, W., Spronk, J., (2002). The Relevance of MCDM for Financial Decisions, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 11, pp. 187 - 195.
- Hämäläinen, R.P., Pöyhönen, M., (1996). On-Line Group Decision Support by Preference Programming in Tra_c Planning, *Group Decision and Negotiation*, Vol. 5, pp. 485 - 500.
- Keeney, R.L., Raiffa, H., (1976). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs*, John Wiley & Sons.
- Kim, S.H., Ahn, B.S., (1999). Interactive Group Decision Making Procedure under Incomplete Information, *European Journal of Operational Research*, Vol. 116, pp. 498 - 507.
- Kim, S.H., Han, C.H., (2000). Establishing Dominance between Alternatives with Incomplete Information in a Hierarchically Structured Attribute Tree, *European Journal of Operational Research*, Vol. 122, pp. 79 - 90.
- Kleinmuntz, D.N., Kleinmuntz, C.E., (2001). Multiobjective Capital Budgeting in Not-for-profit Hospitals and Healthcare Systems, *Working paper, University of Illinois at Urbana-Champaign*. Téléchargeable au: <http://ux6.cso.uiuc.edu/~dnk/research.html>.
- Korhonen, P., Laakso, J., (1986). A Visual Interactive Method for Solving the Multiple Criteria Problem, *European Journal of Operational Research*, Vol. 24, pp. 277 - 287.
- Korhonen, P., Wallenius, J., (1988). A Pareto Race, *Naval Research Logistics*, Vol. 35, pp. 615 - 623.

- Lee, W.L., Kim, S.H. (2001), An integrated approach for interdependent information system project selection, *International Journal of Project Management*, Vol. 19 No.2, pp.111-8.
- Leroy, D., (2004), Des projets au management par projets, note de recherche pour l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches en sciences de gestion, université des sciences et technologies de lille.
- Luenberger, D.G., (1998). *Investment Science*, Oxford University Press.
- Markowitz, H.M., (1959), Portfolio selection, New York: John Wiley & Sons.
- Mármol, A.M., Puerto, J., Fernández, F.R., (1998). The Use of Partial Information on Weights in Multicriteria Decision Problems, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 7, pp. 322 - 329.
- Martell, D.L., Gunn, E.A., Weintraub, A., (1998). Forest Management Challenges for Operational Researchers, *European Journal of Operational Research*, Vol. 104, pp. 1 - 17.
- Martikainen, J., (2002). Portfolio Management of Strategic Investments in Metal Products Industry, Master's Thesis, Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology, <http://www.sal.hut.fi/Publications/tindex.html>.
- Mavrotas,G., Diakoulaki, D. Capros, P., 2003, Combined MCDA-IP approach for project selection in the electricity market, *Annals of Operations Research* 120, 159-170.
- Maystre, L.Y., Pictet, J., Simos, J., (1994). Méthodes multicritères Electre. Description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale. Lausanne, Suisse: Presses polytechniques et universitaires romandes, 323 p.
- Park, K.S., Kim, S.H., (1997). Tools for Interactive Decision Making with Incompletely Identified Information, *European Journal of Operational Research*, Vol. 98, pp. 111 - 123.

- Puerto, J., Mármol, A.M., Monroy, L., Fernández, F.R., (2000). Decision Criteria with Partial Information, *International Transactions in Operational Research*, Vol. 7, pp. 51 - 65.
- Rios Insua, D., French, S., (1991). A Framework for Sensitivity Analysis in Discrete Multi-objective Decision-making, *European Journal of Operational Research*, Vol. 54, pp. 176 - 190.
- Robinson, R., Danielson, U., Snaith, M., (1998). *Road Maintenance Management, Concepts and Systems*, MacMillan Press Ltd.
- Roy, B., (1985). Méthodologie multicritère d'aide à la décision. *Paris: Economica*, 423 p.
- Saaty, T.L., (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill.
- Salo, A., (1990). Approximate Preferences in Hierarchical Decision Models, *Licentiate Thesis, Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology*.
- Salo, A., (1995). Interactive Decision Aiding for Group Decision Support, *European Journal of Operational Research*, Vol. 84, pp. 134 - 149.
- Salo, A., Bunn, D.W., (1995). Decomposition in the Assessment of Judgmental Probability Forecasts, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 49, pp. 13 - 25.
- Salo, A., Hämmäläinen, R.P., (2001). Preference Ratios in Multiattribute Evaluation (PRIME) - Elicitation and Decision Procedures under Incomplete Information, *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 31, pp. 533 - 545.
- Salo, A., Hämmäläinen, R.P., (2004). Preference Programming, *Manuscript, Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology*. Téléchargeable au: <http://www.sal.hut.fi/Publications/m-index.html>.
- Schärlig, A., (1985). Décider sur plusieurs critères, panorama de l'aide à la décision multicritère. *Lausanne, Suisse: Presses polytechniques et universitaires romandes*, 304 p.

- Schmidt, R.L., (1993), A model for R&D project selection with combined benefit, outcome and resource interactions. *IEEE Transactions on Engineering Management*, V. 40, 403–410.
- Spronk, J., Hallerbach, W., (1997). Financial Modelling: Where to Go? With an Illustration for Portfolio Management, *European Journal of Operational Research*, Vol. 99, pp. 113 - 125.
- Steuer, R.E., Na, P., (2003). Multiple Criteria Decision Making Combined with Finance: A Categorized Bibliographic Study, *European Journal of Operational Research*, Vol. 150, pp. 496 - 515.
- Stewart, T.J. (1991) A multi-criteria decision support system for R&D project selection. *Journal of Operational Research Society*. 42, 1, 17-26.
- Strauss, C., Stummer, C., (2002). Multiobjective Decision Support in IT-Risk Management, *International Journal of Technology & Decision Making*, Vol. 1, pp. 251 - 268.
- Stummer, C., Heidenberger, K., (2003). Interactive RD Portfolio Analysis with Project Interdependencies and Time Profiles of Multiple Objectives, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 50, pp. 175 -183.
- Thizy, J-M., Lane, D.E., Pissarides, S., Rawat, S., (1996). Interactive Multiple Criteria Optimization for Capital Budgeting in a Canadian Telecommunications Company, *Multi-objective programming and Goal programming theories and applications*, Springer-Verlag lecture notes in Economics and Mathematical Systems, pp. 128 - 147.
- Turner, J. R. (1993). *The handbook of project-based management : improving the processes for achieving strategic objectives*. London ; New York, McGraw-Hill Book Co.
- Vincke, P., (1989). L'aide multicritère à la décision. *Bruxelles : Éditions de l'Université de Bruxelles*, 179 p.

Von Winterfeldt, D., Edwards, W., (1986). *Decision Analysis and Behavioral Research*, Cambridge University Press.

Weber, M., (1987). Decision Making with Incomplete Information, *European Journal of Operational Research*, Vol. 28, pp. 44 - 57.

Zionts, S., Wallenius, J., (1976). An Interactive Programming Method for Solving the Multiple Criteria Problem, *Management Science*, Vol. 22, pp. 652 - 663.

Zionts, S., Wallenius, J., (1983). An Interactive Multiple Objective Linear Programming Method for a Class of Underlying Nonlinear Utility Functions, *Management Science*, Vol. 29, pp. 519 - 529.

Zopounidis, C., (1999). Multicriteria Decision Aid in Financial Management, *European Journal of Operational Research*, Vol. 119, pp. 404 - 415.

Zopounidis, C., Doumpos, M., (2002). Multi-Criteria Decision Aid in Financial Decision Making: Methodologies and Literature Review, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 11, pp. 167 - 186.